

**PROYECTO DE INNOVACIÓN EDUCATIVA**

**MEMORIA FINAL**

**PROYECTO INTELECCIÓN: INTEGRACIÓN DE  
LAS TECNOLOGÍAS ELECTRÓNICAS DE LA  
INFORMACIÓN EN LA ENSEÑANZA DE LAS  
CIENCIAS MEDIANTE ESTRATEGIAS DE  
INVESTIGACIÓN**

**Coordinador: José Luis Sierra Fernández  
I.E.S. Abdera, Adra (Almería)**

**Referencia del proyecto: 114/02**

**Proyecto subvencionado por la Consejería de Educación y  
Ciencia de la Junta de Andalucía.  
(Orden de 02-05-02; Resolución de 05-11-02)**

## 1. Justificación

El desarrollo de pequeños trabajos de investigación de una manera activa por parte de los alumnos es considerado por distintos investigadores como un elemento importante en la Enseñanza de las Ciencias (Gil y Martínez-Torregrosa<sup>1</sup>, 1987; de Jong y van Joolingen<sup>2</sup>, 1998; Reid *et al.*<sup>3</sup>, 2003). Sin embargo, las Tecnologías de la Información y de la Comunicación (TIC) no suelen participar en este proceso, o al menos no con todo el potencial didáctico detectado en numerosas investigaciones educativas (Sierra y Perales, 1999<sup>4</sup>, 2003<sup>5</sup>; Jimoyiannis y Komis<sup>6</sup>, 2001; Sierra *et al.*<sup>7</sup>, 2003).

La incorporación del ordenador en el aula, fundamentada pedagógicamente, no sólo supone una mejora en el proceso educativo, sino que se adapta eficazmente a un enfoque constructivista del proceso de aprendizaje de las ciencias. Esta consideración se fundamenta en los resultados obtenidos del Proyecto de Investigación Educativa financiado por la Junta de Andalucía (Referencia 102/99) en el que participaron algunos de los profesores que constituyen este grupo de trabajo.

Por otra parte, la experiencia profesional de los profesores de ciencias constata que la mayoría de los estudiantes encuentra grandes dificultades tanto en la comprensión de algunos conceptos científicos como en la aplicación de los procedimientos propios de la metodología científica. Prueba de ello es la resistencia del alumnado a cambiar sus ideas alternativas erróneas, incluso después de haber estudiado los mismos contenidos en

---

<sup>1</sup> Gil, D. Y Martínez-Torregrosa, J. (1987). *La resolución de problemas de Física. Una didáctica alternativa*. Ministerio de Educación y Ciencia. Dirección General de Renovación Pedagógica.

<sup>2</sup> De Jong, T. Y van Joolingen, W.R. (1998). Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of Educational Research*, 68, 2, 179-201.

<sup>3</sup> Reid, D.J., Zhang, J. y Chen, Q. (2003). Supporting scientific discovery learning in a simulation environment. *Journal of Computer Assisted Learning*, 19, 9-20.

<sup>4</sup> Sierra, J.L. y Perales, F.J. (1999). Validation à petite échelle d'un environnement d'apprentissage par découverte fondé sur la simulation de phénomènes physiques, dans l'enseignement secondaire. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, vol. 93, n° 814, 809-821.

<sup>5</sup> Sierra, J.L. y Perales, F.J. (2003). The effect of instruction with computer simulation as a research tool on open-ended problem solving in a Spanish physics classroom of 16-year-olds. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 22(2), 119-140.

<sup>6</sup> Jimoyiannis, A. y Komis, V. (2001). Computer simulations in physics teaching and learning: a case study on student's understanding of trajectory motion. *Computers and Education*, 36, 183-204.

<sup>7</sup> Sierra, J.L., Perales, F.J. y Vilchez, J.M. (2003). Proyectos de Investigación Educativa 1999 (Síntesis de las memorias): *Estudio de la influencia en la mejora de la calidad de la enseñanza de la Física y Química en ESO y Bachillerato de nuevas estrategias docentes basadas en el aprendizaje por descubrimiento y por investigación, utilizando programas informáticos de modelización y simulación de fenómenos físico-químicos*. Consejería de Educación y Ciencia. Junta de Andalucía.

sucesivos años (Hierrezuelo y Montero<sup>8</sup>, 1991). Esta circunstancia favorece, en ocasiones, que los estudiantes mantengan valores, creencias y actitudes sobre la ciencia distintas a las que se pretenden enseñar en el aula.

Por todo ello, este equipo de profesores considera que la realización de actividades de investigación científica por los estudiantes, bajo la dirección del profesor y utilizando distintas aplicaciones informáticas, mejora la calidad de la enseñanza de las ciencias en los distintos niveles educativos.

Actualmente, es obvio que cualquier actividad humana que involucre un tratamiento de datos relevantes para la consecución de un determinado objetivo, en particular la labor docente, puede beneficiarse de las aportaciones introducidas por los ordenadores: rapidez de cálculo; manejo y almacenamiento de gran cantidad de información; alta velocidad en la lectura de datos; diversidad de periféricos para introducir datos en el ordenador; variedad de símbolos gestionados por el ordenador (gráficos, dibujos, animaciones, hipertexto, sonido, vídeo); intercambio de información entre distintos ordenadores conectados entre sí; carácter impersonal del ordenador (*la máquina no se equivoca al ejecutar la tarea programada, no es impaciente*)...

El ordenador, al igual que cualquier otra creación técnica, potencia nuestros sentidos al transformar el procesamiento que hacemos de las informaciones, así como nuestra capacidad comunicativa. Sin embargo, a diferencia de otros dispositivos, el ordenador representa un meta-medio simbólico, en tanto que actúa como herramienta cognitiva que trasciende las limitaciones del procesamiento humano (memoria, carga atencional y fatiga) al tratar la información, esto es, al recibir, almacenar, transformar y generar datos, mediante la manipulación de símbolos que son descodificados en otros símbolos comprensibles para el usuario (enactivos, lingüísticos, matemáticos e icónicos). Este carácter simbólico es importante en el ámbito educativo, ya que los símbolos remiten a la realidad que se pretende enseñar.

Este proyecto de innovación educativa se centra en la utilización en el aula de aplicaciones informáticas consideradas en la literatura científica como "herramientas cognitivas" (Jonassen<sup>9</sup>, 1996), ya que aprovechan la capacidad de control del ordenador para amplificar, extender o enriquecer la cognición humana. Estas aplicaciones pueden activar

---

<sup>8</sup> Hierrezuelo, J. y Montero, A. (1991). *La ciencia de los alumnos. Su utilización en la Didáctica de la Física y Química*. Vélez-Málaga: Editorial Elzevir.

<sup>9</sup> Jonassen, D.H. (1996). *Computers in the classroom: Mindtools for critical thinking*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.

destrezas y estrategias relativas al aprendizaje. El alumno puede usar las destrezas activadas para la adquisición autorregulada de otras destrezas o de nuevo conocimiento.

Por otro lado, toda situación de aprendizaje constituye un proceso complejo de comunicación de información diversa, en el que profesor y alumno intercambian sus papeles de emisor y de receptor a lo largo del tiempo, independientemente del canal utilizado. Además, cuando se introduce el ordenador en el aula, no sólo cambia el canal de comunicación entre profesor y estudiante, sino que, dependiendo de la actividad diseñada, el ordenador puede también asumir las funciones de emisor o receptor, condicionando los papeles desempeñados por el profesor y el alumno. Por consiguiente, la integración del ordenador en el aula es entendida como un proceso complejo que no se consigue sólo con su presencia física, ya que perturba el entorno de comunicación tradicionalmente establecido en los centros educativos.

El profesor Fernández González<sup>10</sup> (1983), autor del primer libro sobre Enseñanza Asistida por Ordenador en España, reflexiona sobre los cambios potenciales en la relación profesor-alumno en el aula de informática: *los alumnos se sienten más libres para decidir, sin temor a cometer errores y aceptando la crítica impersonal de la máquina; el profesor pierde su papel magistral y se transforma en un consejero que ayuda al alumno en su confrontación con el ordenador.*

Varios investigadores (O'Shea<sup>11</sup>, 1988; Hoyles<sup>12</sup> *et al.*, 1991) destacan el hecho de que una utilización adecuada del ordenador estimula el diálogo entre los alumnos y el profesor. Chatterton<sup>13</sup> (1985) señala un cambio cualitativo en los diálogos de los estudiantes cuando se utiliza el ordenador y cuando se lleva a cabo un trabajo práctico tradicional. En éste, los alumnos suelen centrarse en los detalles del experimento, de manera que observaciones como *¿qué probeta utilizamos?, ¿cuánta masa cogemos?* superan al número de preguntas sobre las causas del fenómeno observado. En cambio, durante las sesiones de aprendizaje asistido por ordenador la situación se invierte, sintiéndose los alumnos obligados a preguntarse las razones que explican los hechos generados por el modelo del ordenador y a hacerse una idea de los principios que intervienen. La experiencia muestra que la función educativa del ordenador se potencia cuando los estudiantes trabajan en grupo. Esta situación estimula el aprendizaje

---

<sup>10</sup> Fernández González, M. (1983). *Enseñanza Asistida por Ordenador*. Madrid: Anaya.

<sup>11</sup> O'Shea, B. (1988). DARTS. *Journal of Computer Assisted Learning*, 4(1), 47-50.

<sup>12</sup> Hoyles, C., Healy, L. y Sutherland, R. (1991). Patterns of Discussion between pupil pairs in computer and non-computer environments. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7(4), 210-228.

<sup>13</sup> Chatterton, J.L. (1985). Evaluating CAL in the classroom. En Reid, I. y Rushton, J. (Eds.) *Teachers, computers and the classroom*. Manchester University Press, 88-95.

cooperativo y la enseñanza entre iguales, desarrollando destrezas comunicativas y sociales (Webb, 1984<sup>14</sup>, 1989<sup>15</sup>; OTA<sup>16</sup>, 1988; Squires<sup>17</sup>, 1985; Watson<sup>18</sup>, 1993).

Chatterton señala que gran parte del aprendizaje útil se produce en las interacciones de grupo, con independencia del ordenador, y destaca la importancia de estas actividades cuando se utiliza el software, en contraste con la práctica habitual en las clases tradicionales. Sin embargo, la eficacia de estas interacciones no siempre está garantizada, como se pone de manifiesto en el estudio británico Impact<sup>18</sup> en el que se distinguen *colaboración* y *cooperación* entre los estudiantes, cuando trabajan en grupo utilizando software. El hecho de trabajar juntos ante un ordenador no tiene por qué asegurar la colaboración, como es el caso de la utilización de las hojas de cálculo y los procesadores de texto.

El aprendizaje asistido por ordenador puede facilitar a los estudiantes la oportunidad de responsabilizarse más de sus actividades y de su aprendizaje. En consecuencia, los alumnos reflexionan más que durante las clases tradicionales y pueden trabajar a su propio ritmo. Esta transferencia de responsabilidad o autonomía hacia el alumno en el aprendizaje suscita problemas respecto a la decisión de *cuándo* y *cómo* interviene el profesor para no restar iniciativa al estudiante. Por tanto, el profesor continúa siendo el elemento clave en la enseñanza asistida por ordenador, al diseñar las actividades de aula, decidir el uso que los alumnos darán al software y asumir el papel más adecuado para la consecución de un ambiente favorable para el aprendizaje.

Esta consideración se desprende del informe “*Information Technologies in Education: The Quest for Quality Software*” elaborado por la OCDE en 1989, en el que se asevera que no hay software bueno o malo, sino formas de utilizarlo eficaces o inadecuadas, profesores conocedores de su buen uso o no, ambientes favorables para su utilización o no.

El estilo de interacción favorecido por un programa informático indica los procesos curriculares que pueden reforzarse utilizando este programa. Así, las simulaciones apoyarán el aprendizaje mediante exploración y descubrimiento.

---

<sup>14</sup> Webb, N.M. (1984). Microcomputers learning in small groups: Cognitive requirements and group processes. *Journal of Educational Psychology*, 76, 1076-1088.

<sup>15</sup> Webb, N.M. (1989). Peer interaction and learning in small groups. *International Journal of Educational Research*, 13, 21-39.

<sup>16</sup> Office of Technology Assessment (1988). *Power On! New tools for teaching and learning*. U.S. Government Printing Office. Washington DC.

<sup>17</sup> Squires, D. (1985). Planning a motorway: Making CAL work in today's classrooms. En Tagg, W. (Ed.), *A parent's guide to educational software*. Telegraph Publications, 65-73. Londres.

<sup>18</sup> Watson, D. (Ed.) (1993). *The Impact Report*. King's College. Londres.

El informe “*Power on: New tools for teaching and learning*” de la *Office of Technology Assessment*<sup>16</sup> (1988) de EEUU reconoce el cambio de estilo docente como uno de los efectos más significativos del uso de los ordenadores en clase. El profesor pasa de ser un mero transmisor de conocimientos a un *facilitador* del aprendizaje de sus alumnos.

Por consiguiente, la incorporación del ordenador en el aula conlleva la asunción de nuevas funciones por parte del profesor:

- *Proveedor de recursos*: el profesor recoge y prepara diversos procedimientos y materiales para la realización de actividades independientes del ordenador (fichas de trabajo de los alumnos, diapositivas, videos, etc), o modifica los materiales incluidos en los programas para adaptarlos a la clase concreta o a los objetivos planteados.
- *Organizador*: el profesor planifica el uso de los ordenadores, según el número de éstos y el estilo docente puesto en práctica (demostraciones interactivas dirigidas a la clase, resolución cooperativa de problemas por pequeños grupos de alumnos, trabajos individuales, etc).
- *Tutor*: el docente desarrolla actividades de tutoría sobre grupos reducidos para fomentar las tareas de reflexión y búsqueda de un modelo o una respuesta a un problema.
- *Investigador*: el docente obtiene información sobre el proceso de aprendizaje y detecta las dificultades de sus alumnos a partir de las observaciones sobre el uso del software en el aula. La observación es necesaria para supervisar las estrategias de aprendizaje de los estudiantes cuando utilizan el ordenador y para ayudar a definir el conocimiento previo necesario en los alumnos para un uso adecuado del ordenador.
- *Facilitador*: el docente facilita el aprendizaje de los estudiantes, preparándolos adecuadamente para que extraigan el máximo provecho de los programas utilizados.

Asimismo, el profesor debe ser el encargado de conferir al ordenador la función comunicadora más apropiada, a través de actividades de clase cuidadosamente diseñadas, según los objetivos didácticos, los contenidos de la disciplina y la metodología de trabajo

(Vitale<sup>19</sup>, 1990). Es por ello que consideramos clave para el éxito de la incorporación del ordenador en el aula de Ciencias, un diseño instruccional articulado en torno a la resolución de pequeñas actividades de investigación tutelada.

Cuando el profesor introduce el ordenador en una determinada actividad escolar, está articulando, por lo general de manera implícita, conocimientos de Tecnología Educativa, de Ciencias de la Educación y de la disciplina a enseñar, según su propia representación mental del ordenador. A esta circunstancia se une el hecho de que la mayoría de los entornos informáticos concebidos para la educación asume un modelo de aprendizaje implícito que considera de modo insuficiente las situaciones de aprendizaje posibles y no suele fundamentarse en los resultados de la investigación educativa. Por consiguiente, para que un programa informático genere oportunidades de aprendizaje no sólo debe actuar como una herramienta de estímulo intelectual para el alumnado, sino que debe insertarse en el aula mediante actividades facilitadoras del aprendizaje significativo. Con este fin, consideramos necesario tanto el desarrollo de software educativo fundamentado en la didáctica de las ciencias experimentales, como su evaluación rigurosa (Squires y McDougall<sup>20</sup>, 1997) antes de ser utilizado por el alumnado.

En definitiva, este Proyecto de Innovación Educativa ha pretendido una transferencia eficiente de algunas Tecnologías de la Información y de la Comunicación al contexto escolar, a partir de los siguientes procesos:

1.- El diseño y desarrollo de los programas didácticos de simulación necesarios para trabajar en el aula aquellos contenidos seleccionados para los que no existen programas informáticos comercializados, o si existen no se adaptan adecuadamente a nuestro contexto escolar. Estos simuladores didácticos son desarrollados por el profesorado en un entorno de programación visual y orientada a objetos tal como Delphi 5.0 bajo Windows (Charte<sup>21</sup>, 2000).

2.- La incorporación y validación en el aula de programas didácticos de simulación de ciertos fenómenos naturales y dispositivos técnicos. Para ello, los profesores aplican en el aula una estrategia docente por descubrimiento, en la que los alumnos se implican en

---

<sup>19</sup> Vitale, B. (1990). *La integración de la informática en el aula*. Madrid: Visor.

<sup>20</sup> Squires, D. Y McDougall, A. (1997). *Cómo elegir y utilizar software educativo*. Madrid: Morata.

<sup>21</sup> Charte, F. (2000). *Programación con Delphi 5*. Madrid: Anaya Multimedia.

pequeños proyectos de investigación tutelados por el profesor (Gil<sup>22</sup>, 1993), que son recogidos en un programa guía de actividades.

3.- La utilización de internet como una gran “medioteca” donde los estudiantes pueden encontrar la información necesaria, en formatos diversos, para el desarrollo óptimo de sus trabajos de investigación.

Estos tres procesos se abordan concibiendo el ordenador como un instrumento de expresión, investigación y validación de teorías explicativas de fenómenos físicos tanto del ámbito de la Ciencia “Oficial” como de la Ciencia de los alumnos.

Por último, cabe resaltar que esta innovación educativa despierta el interés de la mayoría del alumnado ya que: a) se implican activamente en el proceso de aprendizaje; b) utilizan el ordenador (hacia el cual presentan una motivación intrínseca, por lo general) para aprender ciencias experimentales; c) realizan tareas propias de los científicos (delimitación de un problema, observación, emisión de hipótesis, discusión en grupo, diseño de estrategias para contrastar hipótesis, control de variables); d) pierden el miedo a responder a las cuestiones planteadas, al asumir que para llegar a la hipótesis más correcta deben seguir un proceso de correcciones sucesivas; e) la dinámica de la clase es más participativa; f) los programas didácticos de simulación permiten a los alumnos cambiar condiciones experimentales, que en el laboratorio real sería difícil, e incluso, en ocasiones, imposible; g) la comunicación entre el profesor y los alumnos, y de éstos entre sí se hace más fluida.

## 2. Bases del estudio

Un modelo didáctico es un plan estructurado para configurar un currículo, diseñar materiales y en general, orientar la enseñanza. El modelo adoptado por esta innovación educativa es el denominado “enseñanza mediante investigación dirigida”, que persigue los cambios conceptuales, metodológicos y actitudinales en el alumnado, situándolo en un contexto de actividad similar al del científico, donde el profesor actuaría como *director de las investigaciones*.

El aprendizaje debe seguir los pasos de la investigación científica, entendida ésta como un proceso de construcción social de teorías y modelos, apoyándose en ciertos recursos

---

<sup>22</sup> Gil, D. (1993). Contribución de la Historia y de la Filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza-aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11, 197-212.

metodológicos que promuevan en el alumno cambios en sus sistemas de conceptos, procedimientos y actitudes. Se adopta un enfoque constructivista, considerando que tanto los modelos y teorías elaboradas, como los métodos y los valores de la ciencia son productos de una construcción social. Por tanto, su aprendizaje en el aula requiere situar al alumno en contextos sociales de construcción del conocimiento, similares a los que vive un científico. Además, ya que la investigación científica se basa en el planteamiento y resolución de problemas, la propia enseñanza de la ciencia debe organizarse en torno a la resolución de problemas relevantes para el estudiante.

La selección de los contenidos debe tener en cuenta las ideas previas de los alumnos y el contexto social del currículo. La historia de la ciencia desempeña un papel importante para estructurar el currículo, al asumirse que el aprendizaje de los contenidos científicos es isomorfo a su propio proceso de construcción científica (Gil<sup>23</sup> *et al.*, 1991).

La secuencia de contenidos se apoyará en el planteamiento y resolución conjunta de problemas por parte del profesor y de los alumnos. Estos problemas consisten en situaciones abiertas que exigen del alumno la búsqueda de respuestas bajo la orientación del profesor, a modo de pequeños trabajos de investigación. Las actividades de enseñanza están articuladas en un programa-guía que pretende conducir al alumno a través de las siguientes fases:

1. Despertar el interés de los alumnos por el problema planteado.
2. Realizar un estudio cualitativo de la situación, delimitando el problema, identificando las variables relevantes, condiciones iniciales, etc.
3. Emitir hipótesis sobre los factores que influyen sobre el problema.
4. Elaborar y explicitar estrategias de resolución del problema.
5. Ejecutar la estrategia diseñada, explicitando y fundamentando lo que va haciendo.
6. Analizar los resultados obtenidos a la luz de las hipótesis iniciales.

---

<sup>23</sup> Gil, D., Carrascosa, J, Furió, C. y Martínez Torregrosa, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. Barcelona: ICE de la Universidad de Barcelona - Horsori.

7. Reflexionar sobre las nuevas perspectivas abiertas por la resolución realizada, replanteando el problema en un nuevo nivel de análisis e imaginando nuevas situaciones a investigar partiendo del proceso realizado.
8. Elaborar un informe en el que se analicen los resultados obtenidos así como el proceso de resolución llevado a cabo.

Los objetivos generales de la etapa de Bachillerato relacionados tanto con la materia de Física y Química, como con la estrategia didáctica aplicada en el proyecto de innovación educativa son los siguientes:

- *Comprender los elementos y procedimientos fundamentales de la investigación y de los métodos científicos.*
- *Profundizar en el conocimiento y en el uso habitual de las tecnologías de la información y las comunicaciones para el aprendizaje.*

Además, la normativa educativa establece que la metodología en el Bachillerato debe favorecer la capacidad del alumno para aprender por sí mismo, para trabajar en equipo y para aplicar los métodos pedagógicos apropiados de investigación.

Los objetivos específicos de la materia de Física y Química de Bachillerato, relacionados con el proyecto son los siguientes:

- *Comprender los conceptos, leyes, teorías y modelos más importantes y generales de la Física y Química, que permitan tener una visión global de los procesos que ocurren en la naturaleza y una formación científica básica.*
- *Aplicar los conceptos, leyes, teorías y modelos aprendidos a situaciones reales y cotidianas.*
- *Analizar críticamente hipótesis y teorías contrapuestas, que permitan desarrollar el pensamiento crítico.*
- *Utilizar con cierta autonomía destrezas investigativas, tanto documentales como experimentales (plantear problemas, formular y contrastar hipótesis, realizar experiencias, etc), reconociendo el carácter cambiante y dinámico de la ciencia.*

- *Adoptar actitudes que suelen asociarse al trabajo científico tales como la búsqueda de información exhaustiva, la capacidad crítica, la necesidad de verificación de los hechos, el cuestionamiento de lo obvio y la apertura ante nuevas ideas.*
- *Integrar la dimensión social y tecnológica de la Física y Química, interesándose por las realizaciones científicas y tecnológicas y comprendiendo los problemas que plantea su evolución a la naturaleza, a la sociedad y a la comunidad internacional.*
- *Comprender el sentido de las teorías y modelos científicos como una explicación de los fenómenos naturales, valorando su aportación al desarrollo de la ciencia.*

Asimismo, el currículo de Física y Química considera que *el desarrollo de esta materia debe procurar la comprensión de la naturaleza de las ciencias, sus logros y limitaciones, su carácter tentativo y de continua búsqueda, su interpretación de la realidad a través de teorías y modelos, su evolución y sus relaciones con la tecnología y la sociedad.*

Los contenidos del currículo abordados en el proyecto son los siguientes:

**a) *Aproximación al trabajo científico.***

- *Procedimientos que constituyen la base del trabajo científico: planteamiento de problemas, formulación y contraste de hipótesis, utilización de fuentes de información diversas, diseño y desarrollo de experimentos, interpretación y comunicación de los resultados.*
- *Representaciones gráficas de magnitudes físicas.*
- *Actitudes en el trabajo científico: hábitos de trabajo e indagación intelectual.*

**b) *Ciencia, tecnología y sociedad.***

- *La naturaleza de la ciencia: sus logros y limitaciones, su carácter tentativo y de continua búsqueda, su evolución y la interpretación de la realidad a través de modelos.*

- *Relaciones de la ciencia con la tecnología y las implicaciones de ambas en la sociedad: consecuencias en las condiciones de la vida humana y en el medio ambiente. Valoración crítica.*

**c) Fuerzas y movimientos.**

- *Conceptos y magnitudes básicas para describir los movimientos en el plano.*
- *Movimientos rectilíneos uniforme y uniformemente acelerado. Componentes intrínsecas de la aceleración. Composición de movimientos: Aplicación a casos concretos de interés (composición de movimientos rectilíneos y uniformes, tiro horizontal y parabólico, ...).*
- *Concepciones pregalileanas sobre las relaciones entre fuerzas y movimientos.*
- *La fuerza como magnitud asociada con las interacciones: Leyes de la dinámica.*
- *Aplicación al caso de las fuerzas gravitatorias (en las proximidades de la superficie terrestre), fuerzas de fricción y elásticas, utilizando sistemas de referencia inerciales.*

En cuanto a los criterios de evaluación mencionados en el currículo y relacionados con esta experiencia de innovación cabe mencionar los siguientes:

- *Aplicar las estrategias propias de la metodología científica a la resolución de problemas relativos a los movimientos estudiados. Se trata de comprobar que el estudiante plantea un estudio cualitativo de la situación, delimita el problema y utiliza en su resolución estrategias coherentes con el cuerpo teórico de conocimientos, analiza los resultados, etc.*
- *Identificar las fuerzas reales que actúan sobre un cuerpo y relacionar la dirección y el sentido de la fuerza resultante con el efecto que produce en él según su velocidad. Se trata de comprobar que el alumno reconoce las fuerzas que actúan sobre móviles y sabe predecir, por su comportamiento, hacia dónde actúa la resultante.*
- *Identificar las interacciones que se producen entre distintos cuerpos en casos concretos, explicando los efectos que se producen en cada uno de los cuerpos. Se*

*trata de comprobar que los estudiantes son capaces de identificar esas interacciones en diversos casos (movimientos en dirección horizontal y vertical, con y sin rozamiento, planos inclinados, interacción gravitatoria) representando los correspondientes diagramas de fuerzas así como el tipo de movimiento que realiza el cuerpo.*

La realización de los trabajos de investigación tutelada con ayuda de simuladores informáticos se beneficia de las distintas funciones desempeñadas por el ordenador en el contexto educativo (Zabalza<sup>24</sup>, 1985):

- 1.- **Función innovadora**, en tanto que promueve un nuevo tipo de interacción.
- 2.- **Función motivadora**, mediante la aproximación de la realidad al alumno y la diversificación de las formas de acceso a lo real.
- 3.- **Función estructuradora** de la realidad, ya que hace una determinada interpretación de lo real, que es transmitida al alumno.
- 4.- **Función mediatizadora**, puesto que establece un tipo de relación con el alumno que condiciona las operaciones mentales promovidas.
- 5.- **Función operativa**, ya que facilita y organiza las acciones de los alumnos.
- 6.- **Función formativa** global, puesto que crea su propio espacio didáctico.

Las funciones estructuradora, mediatizadora y formativa del ordenador están condicionadas por lo que Balacheff<sup>25</sup>(1994) denomina *transposición informática*, es decir, “el conocimiento que posibilita una representación simbólica de un conjunto de contenidos y su posterior implementación en un dispositivo informático”. La transposición informática está estrechamente ligada al proceso de *transposición didáctica*, entendido como “la transformación necesaria del saber científico en saber escolar” (Chevallard<sup>26</sup>, 1991).

---

<sup>24</sup> Zabalza, M. (1985). *Teoría y práctica del diseño curricular*. Universidad de Santiago de Compostela.

<sup>25</sup> Balacheff, N. (1994). *Didactique et intelligence artificielle*. Grenoble: La Pensée Sauvage.

<sup>26</sup> Chevallard, Y. (1991). *La transposition didactique*. Grenoble: La Pensée Sauvage.

Con objeto de integrar las Tecnologías Electrónicas de la Información en el curriculum de las Ciencias Experimentales, este proyecto de innovación educativa tiene en cuenta los siguientes aspectos psicopedagógicos de la interacción entre el alumno y el ordenador (Vitale<sup>19</sup>, 1990):

- La representación mental del alumno acerca del ordenador, que a su vez está condicionada por la publicidad, su experiencia personal, los instrumentos cognitivos propios, la representación social dominante y el trabajo en clase dirigido por el profesor.
- La estructuración de la información presentada por los programas informáticos.
- La conversión del lenguaje natural del alumno al lenguaje formal del programa informático.
- La interpretación de los resultados gráficos.

Vygotski<sup>27</sup> (1980) ya definió el concepto de *herramienta cognitiva* como “el objeto o medio provisto por el entorno de aprendizaje, que permite a los estudiantes incorporar nuevos métodos o símbolos auxiliares en su actividad de resolución de problemas, que de otra manera sería inviable”. En consecuencia, las herramientas cognitivas son necesarias para el aprendizaje, la reestructuración del conocimiento, la construcción de modelos mentales y el fomento de la autoconfianza en la resolución de problemas.

El ordenador como herramienta cognitiva puede ayudar al alumno en su aprendizaje en distintos ámbitos (Jonassen<sup>9</sup>, 1996):

- Como suplemento a la memoria de trabajo limitada, haciendo inmediatamente disponible gran cantidad de información al alumno.
- Disponiendo de la información relevante aprendida previamente, junto con la nueva información adquirida.

---

<sup>27</sup> Vygotski, L.S. (1980). *Mind in society. The development of higher psychological process*. Cole, M., John-Steiner, V., Scribner, S. y Souberman, E. (Eds.) Cambridge, MA: Harvard University Press.

- Permitiendo a los alumnos recuperar rápidamente la información mostrada previamente, que sea necesaria para ayudarles en el aprendizaje de nuevos contenidos específicos; orientándoles para estructurar, integrar e interconectar las nuevas ideas con las previas; facilitando la auto comprobación; permitiéndoles representar las ideas tanto verbal como pictóricamente; facilitando la modificación, consolidación y reestructuración de la información necesarias para que los estudiantes amplíen su base de conocimientos.

En consecuencia, algunas de las tareas cognitivas implicadas en el aprendizaje de las Ciencias Experimentales pueden ser asistidas por el ordenador, tales como:

- a) *Soportar procesos cognitivos*, como la memorización, los procesos metacognitivos y el acceso al conocimiento declarativo y conceptual. El ordenador hace un seguimiento y registra los pasos dados por el alumno al resolver un determinado problema. Para ello, el ordenador evalúa dinámicamente las acciones del alumno, interpretándolas como proyecciones de su pensamiento interno.
- b) *Compartir la carga cognitiva*, ayudando en habilidades cognitivas de nivel inferior, para que así el alumno pueda centrarse en las habilidades de orden superior (tareas educativas auténticas). Puesto que el alumno sólo puede atender a una cierta cantidad de información en un determinado momento, el ordenador actúa como compañero intelectual.
- c) *Estimular al alumno en actividades cognitivas* que no serían posibles de otro modo. El ordenador aproxima el mundo real al alumno de una manera concreta y manipulable (por ejemplo, la simulación de fenómenos naturales).
- d) *Permitir al alumno la emisión y contrastación de hipótesis* en la resolución de problemas científicos.

El proceso de creación de nuevo software educativo en el marco de este proyecto de innovación cumple los requisitos que Reusser<sup>28</sup> (1993) considera inherentes a todo programa informático genuinamente educativo:

---

<sup>28</sup> Reusser, K. (1993). *Tutoring Systems and Pedagogical Theory: Representational Tools for Understanding, Planning and Reflection in Problem Solving*, en Lajoie, S.P. y Derry, S.J., *Computers as Cognitive Tools*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

- 1.- El ordenador será usado como herramienta de soporte cognitivo al servicio de unos objetivos pedagógicos explícitos. Los programas informáticos educativos, en tanto que dispositivos potenciadores de la mente y pertenecientes a nuestra cultura tecnológica, no sólo actúan como amplificadores de nuestra propia inteligencia, sino que podrían cambiar significativamente nuestra tradicional visión del entorno educativo, así como redefinir los límites naturales del quehacer humano. El diseño de programas educativos necesita de: a) un modelo cognitivo instruccionalmente eficiente del dominio a enseñar; b) una fundamentación de los procesos de aprendizaje asociados al dominio a enseñar; c) un concepto socio-cognitivo de la enseñanza adecuada al dominio (equilibrio entre la instrucción explícita y el aprendizaje por descubrimiento, entre el aprendizaje individualizado y el cooperativo); d) una visión de la naturaleza activa del alumno.
- 2.- Ampliar y potenciar las mentes de alumnos suficientemente motivados. Los ordenadores no son sustitutos de los profesores, sino herramientas destinadas a cultivar la inteligencia del alumno, como instrumentos didácticos dirigidos a fomentar la autonomía y la autorregulación del alumno.
- 3.- Facilitar a los alumnos alguna guía según el *Principio de Ayuda Mínima*. El ordenador provee estructuras estimuladoras y facilitadoras, con el fin de promover actividades de construcción de significados, tales como la planificación, la representación y la reflexión.
- 4.- Hacer que los estudiantes construyan y expliciten sus propios modelos mentales.
- 5.- Suministrar a los estudiantes instrumentos de representación efectivos e inteligibles.

Por otra parte, el entorno de aprendizaje con ordenador aplicado en esta innovación se inspira en el *paradigma revelador* perteneciente a la taxonomía de programas informáticos de Kemmis<sup>29</sup> et al. (1977), que concibe el ordenador como guía del alumno a través de un proceso de aprendizaje por descubrimiento, actuando como mediador entre un modelo científico “oculto” en el programa informático y el alumno.

Sin embargo, a pesar de todo el potencial educativo de las tecnologías de la información y de la comunicación, aún no se ha conseguido su plena integración en el contexto escolar. Esto se constata en el informe *“La Informática en la Enseñanza Secundaria:*

---

<sup>29</sup> Kemmis, S., Atkin, M. Y Wright, S. (1977). How do students learn? Occasional paper No. 5. CARE: University of East Anglia.

*Curriculum para las escuelas*”, elaborado en 1994 por la Comisión de la Federación Internacional para el Procesamiento de la Información (IFIP) bajo los auspicios de la UNESCO. En este documento se asevera que la transferencia de las tecnologías de la información y de la comunicación a los centros educativos suele desarrollarse a lo largo de tres etapas:

1ª etapa: El ordenador se introduce como una nueva utilidad educativa, convirtiéndose en objeto de estudio.

2ª etapa: El valor de las tecnologías de la información y de la comunicación como recurso educativo comienza a ser apreciado y desarrollado. Como consecuencia, se convierten en un contenido transversal del curriculum.

3ª etapa: La tecnologías de la información y de la comunicación influyen en el contenido y los objetivos de la enseñanza, así como en la metodología y en el sistema de enseñanza.

Las dificultades que impiden a los centros educativos cubrir todas la etapas en la transferencia de la informática al contexto escolar son de diversa naturaleza:

- Obstáculo físico: se crean aulas de ordenadores que son utilizadas casi exclusivamente para la asignatura de Informática, no disponiéndose de horas suficientes para el resto de las asignaturas.
- Obstáculo de curriculum: como consecuencia del obstáculo físico, no es posible considerar actividades basadas en el ordenador en las programaciones de las distintas asignaturas.
- Carencia de soporte técnico: por lo general, el profesor de informática actúa también como técnico, asesor y proveedor de programas informáticos.
- Actitud del profesor: en ocasiones, debido a la falta de información, la informática se percibe como una amenaza, un desafío, una innovación más, manteniendo una actitud escéptica frente a las potenciales mejoras que pudiera aportar.

- Inadecuación de algunos programas informáticos a una realidad escolar concreta, por su complejidad, presentación de contenidos poco ergonómica, contenidos a enseñar no incluidos en la programación didáctica, etc.
- Nuevo papel de los profesores: se necesitan nuevas estrategias y metodologías de enseñanza para conseguir que las tecnologías de la información y de la comunicación actúen como verdaderos estimuladores intelectuales.
- La innovación no es un proceso directo y natural, ya que los entornos informáticos son complejos y requieren de un cierto tiempo para aprender su manejo. Además, la aplicación informática puede involucrar ciertas decisiones pedagógicas y epistemológicas.
- Insuficiente cooperación entre los centros educativos y la industria informática: los programadores y fabricantes de programas informáticos educativos deben tener más en cuenta el entorno escolar al que supuestamente se dirigen sus productos, así como las necesidades y prescripciones de los profesores.
- Coexistencia de los medios informáticos con los recursos didácticos tradicionales, aprovechando lo mejor de cada uno según el contexto de aprendizaje. El profesor tiene que ser consciente tanto de las virtudes como de las limitaciones del entorno informático en relación con los recursos clásicos de aula.

Uno de los objetivos clave en la enseñanza de la Física es establecer una relación entre los objetos y fenómenos del mundo real y los modelos que permiten su interpretación al estudiante. Estos mundos remiten a esquematizaciones próximas pero diferentes: el mundo real y el mundo de los signos (Beaufils<sup>30</sup>, 2000). En este contexto, la simulación de fenómenos físicos por ordenador se puede concebir desde una doble perspectiva: por un lado, constituye un *espacio intermediario*, que puede facilitar la conexión entre la realidad y los modelos (Barberá y Sanjosé<sup>31</sup>, 1990), entre lo concreto y lo abstracto (Valente y Neto<sup>32</sup>, 1992). Por otra parte, la simulación representa un instrumento para la

---

<sup>30</sup> Beaufils, D. (2000). Les logiciels de simulation comme supports de registres de representation pour les apprentissages en physique. *Journées Internationales d'Orsay sur les Sciences Cognitives*.

<sup>31</sup> Barberá, O. y Sanjosé, V. (1990). Juegos de simulación por ordenador: un útil para la enseñanza a todos los niveles. *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (1), 46-51.

<sup>32</sup> Valente, M. y Neto, A.J. (1992). El ordenador y su contribución a la superación de las dificultades del aprendizaje en mecánica. *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (1), 80-85.

manipulación de modelos (*mundo controlable*, según Bork<sup>33</sup>) que facilitarán la adquisición de conocimientos conceptuales y procedimentales (Andaloro<sup>34</sup> *et al.*, 1991).

Algunas de las ventajas destacables de la simulación por ordenador como recurso didáctico son las siguientes (Sierra<sup>35</sup>, 2000):

- Permite reproducir fenómenos naturales difícilmente observables de manera directa en la realidad, por motivos de peligrosidad (proceso de fisión en un reactor nuclear) de escala de tiempo (proceso de desintegración de un radioisótopo, evolución de una población de seres vivos dentro de un ecosistema), de escala espacial (movimientos planetarios, movimiento de las partículas de un gas) o de carestía del montaje (difracción con laser).
- El alumno pone a prueba sus ideas previas acerca del fenómeno que se simula mediante la emisión de hipótesis propias, lo cual redundará en una mayor autonomía del proceso de aprendizaje.
- El alumno comprende mejor el modelo científico utilizado para explicar el fenómeno, al observar y comprobar, de forma interactiva, la realidad que representa.
- La simulación posibilita extraer una parte de la física, la química, la biología o la geología que subyace en una determinada experiencia, simplificando su estudio, lo cual facilita la comprensión del fenómeno.
- El alumno puede modificar, a voluntad, los distintos parámetros y condiciones iniciales que aparecen en el modelo del simulador, lo que ayuda a formular sus propias conclusiones a partir de distintas situaciones.
- La simulación evita al alumno los cálculos numéricos complejos, lo que le permite concentrarse sólo en los aspectos más científicos del problema.
- La simulación ofrece al alumno una amplia variedad de datos relevantes, que facilita la verificación cualitativa y cuantitativa de las leyes científicas

---

<sup>33</sup> Bork, A. (1981). *Learning with computers*. Bedford, MA: Digital Press.

<sup>34</sup> Andaloro, G., Donzelli, V. y Sperandeo-Mineo, R.M. (1991). Modelling in Physics teaching: The role of computer simulation. *International Journal of Science Education*, 13 (3), 243-254.

<sup>35</sup> Sierra, J.L. (2000). Informática y enseñanza de las ciencias. En Perales, F.J. y Cañal, P. (Dirs.), *Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Alcoy: Marfil.

- Los problemas científicos con un trasfondo matemático complejo pueden ser tratados, haciéndolos asequibles al estudiante (sistemas no lineales, caos, etc).

En cuanto a los contenidos enseñados, la simulación por ordenador permite al alumno la adquisición de:

**Contenidos conceptuales**, relacionados con fenómenos naturales físicamente inaccesibles, peligrosos, complejos, que necesitan montajes experimentales caros, que tienen lugar en intervalos espaciales y temporales inusuales, etc.

**Contenidos procedimentales**: elaboración de conjeturas que pueden ser contrastadas; deducción de predicciones a partir de experiencias, datos, etc; emisión de hipótesis a partir de una teoría; construcción de relaciones de dependencia entre las variables; realización de un proceso de control y de exclusión de variables; elaboración de una estrategia para la resolución de un problema; registro cualitativo y cuantitativo de datos; interpretación de observaciones, datos, medidas, etc; formulación de relaciones cualitativas; manipulación de modelos analógicos.

**Contenidos actitudinales**: reconocimiento de la influencia de los modelos en la elaboración del conocimiento científico; reconocimiento del carácter provisional y perfectible de los modelos.

La teoría constructivista del aprendizaje concibe al alumno como un agente activo en la adquisición de conocimiento. El modelo didáctico aplicado en este proyecto de innovación asume esta premisa. La información no es ofrecida a los alumnos de manera expositiva, sino que un entorno abierto de aprendizaje promueve que sean los alumnos por sí mismos quienes construyan su propio conocimiento, mediante la indagación, la resolución de problemas, los razonamientos hipotético-deductivo e inductivo, etc.

Njoo y de Jong<sup>36</sup> (1991) consideran el *aprendizaje por descubrimiento guiado* importante, ya que los contenidos conceptuales pueden ser aprendidos mejor y con más profundidad, a la vez que se aprenden contenidos procedimentales. La simulación por ordenador se adapta adecuadamente a este modelo didáctico, ya que oculta un modelo que debe descubrir el alumno. Además, la simulación sitúa al estudiante en un mundo

---

<sup>36</sup> Njoo, M. y de Jong, T. (1991). Support for learning with computer simulations: Giving hints, supporting learning processes and providing hypotheses. *Annual Convention of the American Educational Research Association*. Chicago (USA) 3-7 abril.

intermedio entre lo concreto y lo abstracto, que le ayuda a progresar de la fase concreta de su desarrollo a la fase formal (Valente y Neto, 1992).

Sin embargo, los estudios de campo sobre *aprendizaje por descubrimiento guiado* con simulaciones por ordenador no ofrecen éxitos concluyentes. Njoo y de Jong<sup>37</sup> (1993) identifican dos razones para justificar la relativa ineficacia del simulador como recurso didáctico: en primer lugar, los procesos implicados en el aprendizaje exploratorio son difíciles para los estudiantes, y por otra parte, éstos no son tan activos como asumimos y en consecuencia, aun teniendo las destrezas necesarias, los alumnos no suelen aplicarlas.

Esta circunstancia puede ser superada si el simulador didáctico incorpora determinadas medidas instructivas, que han sido tenidas en cuenta para el desarrollo del nuevo software educativo generado en este proyecto:

- Implementación de modelos de complejidad creciente (White<sup>38</sup>, 1998).
- Prohibición a los alumnos de introducir ciertos valores a algunas variables.
- Riqueza conceptual de los fenómenos simulados y variedad de los métodos de investigación demandados al alumno.
- Estímulo a los alumnos para llevar a cabo acciones exploratorias, lo cual está estrechamente vinculado a la complejidad del simulador.
- Orientación en el modo de actuar del alumno, permitiéndole un margen de libertad adecuado que favorezca el desarrollo de un razonamiento divergente.
- Sistemas de ayuda asociados al simulador sobre distintos aspectos (conceptos implicados en el problema propuesto, utilización del programa, estrategias puestas

---

<sup>37</sup> Njoo, M. y de Jong, T. (1993). Exploratory Learning with a computer simulation for control theory: Learning processes and instructional support. *Journal of Research in Science Teaching*, 30 (8), 821-844.

<sup>38</sup> White, B.Y. (1998) Computer Microworlds and Scientific Inquiry: An alternative approach to Science Education. En Fraser, B.J. y Tobin, K.G., *Intenational Handbook of Science Education*, 295-315. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

en juego, etc), encaminados a evitar que el alumno con insuficiente conocimiento de la materia actúe de modo arbitrario y sin planificación (Bork y Robson<sup>39</sup>, 1972).

- Equilibrio entre medidas obligatorias (de cumplimiento obligado por los alumnos) y medidas no obligatorias (los alumnos tienen el control sobre el uso de las medidas instruccionales).

### 3. Objetivos e hipótesis

Considerando las categorías establecidas por Arnal<sup>40</sup> *et al.* (1994), este proyecto de innovación educativa desarrolla una investigación aplicada, longitudinal y experimental con aspectos cuantitativos y cualitativos.

Dentro del *paradigma cuantitativo* se ha pretendido contrastar las siguientes hipótesis:

1. Las actividades de investigación con simuladores permite evolucionar las ideas previas del alumnado hacia las ideas científicas.
2. El nivel de razonamiento lógico del alumnado influye en el aprendizaje por investigación mediante simuladores.
3. El rendimiento académico del alumnado influye en el aprendizaje por investigación mediante simuladores.
4. El nivel de conocimiento informático del alumnado influye en el aprendizaje por investigación mediante simuladores.
5. La realización de pequeños trabajos de investigación con ayuda de los simuladores mejora el conocimiento de los contenidos procedimentales.
6. La realización de pequeños trabajos de investigación con ayuda de los simuladores mejora el conocimiento de los contenidos actitudinales.

---

<sup>39</sup> Bork, A.M. y Robson, J. (1972). A computer simulation for the study of waves. *American Journal of Physics*, 40, 1288-1294.

<sup>40</sup> Arnal, J., del Rincón, D. y Latorre, A. (1994). *Investigación educativa. Fundamentos y metodología*. Barcelona: Editorial Labor, S.A.

7. La enseñanza mediante trabajos de investigación con los simuladores procura un aprendizaje más significativo de los contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales que la enseñanza tradicional meramente transmisiva.
8. El aprendizaje de la mecánica newtoniana con los programas informáticos desarrollados en este proyecto de innovación (*Dinamic, Mobile*) es más significativo que con software comercial (*Interactive Physics* <sup>41</sup>), ya que los primeros implementan determinadas medidas instructivas que facilitan la labor investigadora del alumnado (modelos físico-matemáticos de complejidad creciente, actividades adecuadamente secuenciadas, ayuda contextualizada tanto para desarrollar la investigación y como para manejar el simulador).

El proyecto de innovación asume la complejidad del fenómeno educativo, por lo que concibe los *paradigmas cualitativo* y *cuantitativo* como complementarios y necesarios para construir nuevo conocimiento acerca del aprendizaje de la Física. Por consiguiente, no sólo basta con establecer unas hipótesis a contrastar, sino que también se establecen los siguientes objetivos:

1. Seleccionar los contenidos científicos (conceptuales, procedimentales y actitudinales) a enseñar mediante una estrategia de aprendizaje por investigación, atendiendo a los siguientes criterios: pertenencia a la programación del área de Ciencias de la Naturaleza de ESO y de la materia de Física y Química de Bachillerato; presencia transversal en el curriculum; proximidad al entorno cotidiano de los alumnos; interés y conocimiento general en los grupos experimentales de alumnos y existencia de modelos mentales en los alumnos.
2. Elaborar programas informáticos de simulación fundamentados en la Didáctica de las Ciencias Experimentales y en la ingeniería de software.
3. Diseñar actividades de investigación adecuadas a nuestro alumnado y a los simuladores utilizados en el aula.
4. Fomentar el aprendizaje cooperativo entre los estudiantes.
5. Introducir a los estudiantes en la cultura científica actual que concibe la simulación por ordenador como una herramienta fundamental para la investigación y la experimentación.

---

<sup>41</sup> Interactive Physics. User's Manual. MSC. Working Knowledge. San Mateo. California.

6. Elaborar nuevos instrumentos de diagnóstico que aporten información fiable sobre nuestro contexto escolar, tales como: un test de exploración sobre conceptos de mecánica newtoniana, un cuestionario de evaluación de software educativo y una encuesta sobre el uso y el conocimiento del ordenador.
7. Diseñar distintos simuladores en el entorno comercial *Interactive Physics*.

#### 4. Metodología

La experiencia educativa se ha llevado a cabo durante los cursos académicos 2002-2003 y 2003-2004, participando estudiantes de Física y Química de 1º de Bachillerato, 4º de E.S.O. y Educación Secundaria de Adultos en los institutos almerienses *Abdera* de Adra y *Fuentenueva* de El Ejido, así como en el instituto granadino *Hermenegildo Lanz*.

En una primera fase, los profesores seleccionan los contenidos y problemas científicos contemplados en la programación didáctica de Física y Química, que reúnan en lo posible las siguientes características:

- Proximidad al entorno cotidiano del alumno
- Existencia de ideas previas en el estudiante. Aunque la experiencia docente de cada profesor permite identificar las ideas alternativas más frecuentes en los alumnos, los profesores revisarán parte de la extensa bibliografía existente sobre este particular.
- Presencia transversal en el curriculum
- Implicación con las relaciones entre Ciencia, Tecnología y Sociedad.
- Relevancia en la historia de las ideas científicas.
- Adecuación de los contenidos a la nueva estrategia docente basada en la simulación por ordenador.
- Interés y motivación de los alumnos.

Posteriormente, los profesores efectúan una revisión rigurosa de los programas didácticos de simulación adecuados para tratar los problemas científicos seleccionados. Para ello, el equipo de trabajo consulta los CEP de zona, la red Internet, el departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales de la Universidad de Granada y distintos comercios de software. Los programas informáticos son analizados con objeto de evaluar su potencial educativo y su adecuación a los contenidos y los objetivos propuestos. Para este fin, los profesores elaboran previamente un documento que refleje los indicadores de calidad satisfechos por un programa informático realmente educativo.

Los nuevos programas informáticos didácticos son desarrollados en el entorno de programación visual y orientada a objetos de Delphi para Windows.

Una vez seleccionados los contenidos científicos y los programas informáticos, el profesorado elabora un programa guía de actividades para cada contenido, que oriente la labor de los alumnos con el ordenador. Tales actividades promueven en los estudiantes la adquisición de procedimientos científicos como:

- Elaboración de conjeturas que puedan ser confirmadas o refutadas.
- Deducción de predicciones a partir de observaciones y datos.
- Emisión de hipótesis a partir de un modelo científico o personal.
- Construcción de relaciones de dependencia entre las variables relevantes en un fenómeno.
- Realización de un proceso de control y de exclusión de variables.
- Elaboración de una estrategia para la resolución de un problema.
- Interpretación de observaciones y datos.
- Formulación de relaciones cualitativas y cuantitativas.

- Comunicación al resto de la comunidad de las hipótesis y los resultados de la investigación.

Las cuestiones propuestas en los programas guías implican activamente al alumno en su aprendizaje, ya que debe plantear sus propias hipótesis, estrategias de resolución y diseños experimentales sencillos para contrastar las hipótesis.

Por otra parte, para contrastar la hipótesis y conseguir los objetivos del presente proyecto de innovación es preciso que el equipo de profesores establezca una estrategia de acción en el aula consecuente. Con este fin, inicialmente se han considerado dos perfiles distintos de grupos de alumnos:

- *Grupo de control*, constituido por estudiantes que antes de utilizar los programas de simulación siguen una instrucción transmisiva basada en recursos didácticos tradicionales: realización de prácticas de laboratorio, visión de videos, consulta bibliográfica en la biblioteca del centro y resolución de problemas con “lápiz y papel”.
- *Grupo experimental*, constituido por el alumnado que utiliza las aplicaciones informáticas.

Tanto los alumnos del grupo de control como experimental realizan varios tests previos y posteriores al trabajo en el aula, que nos permitirán diagnosticar las características del alumnado (variables) y su evolución a lo largo de la experiencia.

#### **4.1 Variables independientes**

Relacionamos a continuación las consideradas en el proyecto de innovación y en las referencias bibliográficas que, en su caso, nos han servido de punto de partida para su operativización. Con ellas pretendemos seleccionar las variables que, a partir de la revisión teórica y de nuestra experiencia previa, pueden resultar relevantes a los efectos de contrastar las hipótesis de la innovación y responder a los objetivos planteados en la misma.

- *Conocimiento conceptual*: obtenido a partir del test sobre conceptos de mecánica newtoniana diseñado por el equipo de profesores. Además informa de las ideas previas mantenidas por el alumno.

- *Conocimiento procedimental*: obtenido a partir del test sobre procedimientos científicos TIPS (“*Test of Integrated Process Skills*”) elaborado y validado por Dillashaw y Okey<sup>42</sup> (1980).
- *Actitud hacia la ciencia*: obtenida a partir de un test de escala tipo Likert elaborado y validado por Penichet y Mato<sup>43</sup> (1999).
- *Conocimiento de informática*: obtenido a partir de un test elaborado por el equipo de profesores para evaluar el nivel de conocimiento de distintos programas informáticos.
- *Nivel de razonamiento lógico*: obtenido a partir del test de razonamiento lógico elaborado y validado por Acevedo y Oliva<sup>44</sup> (1995).
- *Rendimiento académico*: obtenido de las calificaciones en la asignatura de Física y Química.

#### 4.2 Variables dependientes

En este caso recogemos las que a nuestro juicio nos informan del nivel de aprendizaje alcanzado por el alumno, y de su evolución, como consecuencia de las distintas actuaciones instructivas diseñadas al efecto:

- Puntuación del post-test conceptual.
- Puntuación del post-test procedimental.
- Puntuación del post-test de actitud hacia la ciencia.
- Variación de puntuación entre pre-test y post-test conceptuales.

---

<sup>42</sup> Dillashaw, F.G. y Okey, J.R. (1980). Test of the Integrated Science Process Skills for secondary science students. *Science Education*, 64(5), 601-608.

<sup>43</sup> Penichet, A. y Mato, M.C. (1999). Las actitudes del alumnado de secundaria hacia las ciencias experimentales. *Alambique*, 22, 9-16.

<sup>44</sup> Acevedo, J.A. y Oliva, J.M. (1995). Validación y aplicaciones de un test de razonamiento lógico. *Revista de Psicología General y Aplicada*, 48(3), 339-351.

- Variación de puntuación entre pre-test y post-test procedimentales.
- Variación de puntuación entre pre-test y post-test de actitud hacia la ciencia.

### 4.3 Instrumentos de medida

La Tabla 1 muestra los instrumentos utilizados para diagnosticar las cinco primeras variables relacionadas en el apartado 4.1.

VARIABLE	INSTRUMENTO DE MEDIDA
Conocimiento conceptual	Cuestionario conceptual
Conocimiento procedimental	Extracto del TIPS
Actitud hacia la ciencia	Test de escala Likert
Conocimiento de informática	Cuestionario sobre el uso y conocimiento del ordenador
Habilidad para el razonamiento lógico	Test de razonamiento lógico

**Tabla 1.** Cuestionarios empleados para diagnosticar algunas de las variables estudiadas.

A continuación, se relacionan y se describen brevemente cada uno de los instrumentos de medida aplicados en la investigación.

- *Test conceptual*: una serie de cuestiones abiertas que permiten explicitar las ideas previas de los alumnos y el grado de comprensión de conceptos referentes a la cinemática y la dinámica del punto material (ver Anexo II). En la puntuación de los tests sólo influyen los items respondidos correctamente, valorándose cada uno de ellos con un punto.
- *Test de escala Likert* elaborado y validado por Penichet y Mato (1999) para diagnosticar la actitud de los estudiantes hacia la ciencia (ver Anexo V).

- Una *cuestión sobre el uso de los ordenadores por los científicos* (ver Anexo IX), extraída de una encuesta elaborada en el marco de un proyecto europeo de investigación educativa sobre la imagen de las ciencias que tienen los estudiantes (Séré<sup>45</sup> *et al.*, 2001).
- *Test CAME* (Cognición, Acción y Metodología) de actitudes científicas elaborado y validado por García<sup>46</sup> (2000), que utiliza los siguientes indicadores (uno para cada ítem): como *componente comportamental*, la multicausalidad, el enfoque teórico-práctico, el pensamiento divergente, la multicontextualización, la apertura cognoscitiva, el enfoque relacional y el carácter social del conocimiento; como *componente afectivo*, la persistencia, la preferencia, la aceptación y el rol activo; como *componente cognitivo*, las concepciones sobre el origen, la función, la validez y los límites de la ciencia (ver Anexo VI).
- *Test de opción múltiple sobre actitudes científicas* elaborado y validado por Vázquez y Manassero<sup>47</sup> (1999). Las alternativas del formato de opción múltiple constituyen las categorías de respuestas dadas por alumnos pre-universitarios a una encuesta previa de respuestas abiertas. Las cuestiones tratadas son: la naturaleza de los modelos y esquemas de clasificación de la ciencia, el carácter provisional del conocimiento, la naturaleza del método científico, las influencias sociales sobre los científicos y las causas de las discrepancias entre científicos con relación a valores y motivaciones (ver Anexo VII).
- *Cuestionario sobre el uso y el conocimiento del ordenador*, en el que se recoge información de los alumnos sobre su dominio del software de propósito general y específico, el tiempo dedicado diariamente al uso del ordenador y la opinión personal sobre la informática (ver Anexo VIII)
- *Test de opción múltiple sobre procedimientos científicos*, extraído del TIPS (“*Test of Integrated Process Skills*”) elaborado y validado por Dillashaw y Okey (1980). Los ítems están referidos a los procedimientos de formulación de hipótesis, definición operacional de variables, control y manipulación de variables, planificación de investigaciones e interpretación de datos (ver Anexo XI).

---

<sup>45</sup> Séré, M.G., Fernández-González, M., Gallegos, J.A., González-García, F., De Manuel, E., Perales, F.J. y Leach, J. (2001). Images of science linked to labwork: A survey of secondary school and university students. *Research in Science Education*, 31, 499-523.

<sup>46</sup> García, J.J. (2000). La solución de situaciones problemáticas: Una estrategia didáctica para la enseñanza de la química. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(1), 113-129.

<sup>47</sup> Vázquez, A. y Manassero, M.A. (1999). Características del conocimiento científico: creencias de los estudiantes. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(3), 377-395.

- *Test de razonamiento lógico* elaborado y validado por Acevedo y Oliva (1995), constituido por diez items referidos a esquemas de razonamiento lógico como la proporcionalidad, el control de variables, la probabilidad, la correlación y las operaciones combinatorias (ver Anexo XII).
- Un *programa - guía de actividades de investigación* para cada alumno, en la que se plantean cuestiones con el siguiente formato: enunciado de un problema abierto, hipótesis, estrategia de investigación, conclusiones y solución del problema. Cada estudiante debe emitir sus propias hipótesis, diseñar una estrategia para contrastarlas y establecer las conclusiones convenientes, corroborando o rechazando las hipótesis iniciales. Las cuestiones planteadas se centran sobre las concepciones alternativas más frecuentes, aprovechando el potencial didáctico del programa de simulación (ver Anexo I).
- *Observaciones de aula* registradas por el profesor al final de cada sesión. Se trata de describir las interacciones entre alumnos, alumnos-profesor y alumnos-ordenador que tienen lugar en el aula durante la experiencia.
- *Registros informáticos* de los diseños y estrategias experimentales elaborados por los estudiantes y de la actividad sobre el simulador realizada por cada alumno para contrastar sus hipótesis. Estas grabaciones en el disco duro del ordenador son realizadas automáticamente por el simulador y permiten al profesor hacer el seguimiento y evaluación del proceso de razonamiento y aprendizaje de cada alumno.
- *Grabaciones del sonido* de ambiente en el aula.
- *Lista de control* para que profesores de Física y Química en activo evalúen los programas informáticos utilizados en la investigación (ver Anexo III).

#### **4.4 Muestra**

La primera fase de la innovación (curso 2002-03) se ha llevado a cabo con 62 alumnos de Bachillerato de Ciencias de la comarca del poniente de Almería, de los que 43 asistían al I.E.S. *Fuentenueva* de El Ejido y 19 al I.E.S. *Abdera* de Adra.

En la segunda fase (curso 2003-04) participan 112 estudiantes, de los cuales 25 estudian Bachillerato de Ciencias y 42 Educación Secundaria de Adultos en el I.E.S.

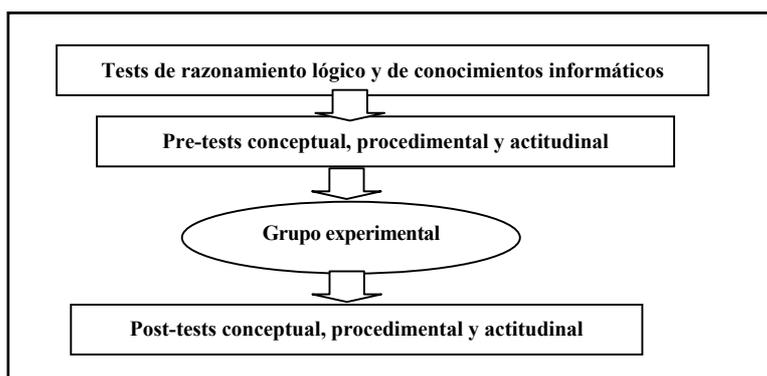
*Hermanegildo Lanz* de Granada, y otros 45 alumnos de Bachillerato de Ciencias en el I.E.S. *Fuentenueva* de El Ejido.

Los profesores responsables de aplicar en el aula la estrategia docente y el material curricular elaborados han sido tres: dos en el instituto de El Ejido y el coordinador del proyecto en los institutos *Abdera* y *Hermenegildo Lanz*. Además, once profesores de Física y Química de la comarca del poniente almeriense, participantes durante los meses de enero y febrero de 2003 en un curso de formación permanente del profesorado<sup>48</sup> impartido por el coordinador del proyecto, han evaluado los programas informáticos utilizados en el aula.

#### 4.5 Experimentación en el aula

Durante el primer trimestre del curso 2002-03 el grupo experimental está constituido por 19 alumnos de 1º Bachillerato de Ciencias del I.E.S. *Abdera*. Las actividades de investigación son realizadas por parejas de estudiantes con el programa *Mobile*.

Tanto los problemas planteados por el profesor como los informes de investigación generados por los alumnos están integrados en el programa informático. Inicialmente los alumnos se familiarizan con el simulador y cumplimentan los pre-tests conceptual, procedimental y actitudinal, así como los tests de conocimientos informáticos y de razonamiento lógico. Las últimas sesiones son dedicadas a cumplimentar los post-tests conceptual, procedimental y actitudinal (ver figura 1).



**Figura 1.** Organigrama del diseño experimental del primer trimestre.

Durante el segundo y tercer trimestres del curso 2002-03 la investigación se lleva a cabo en el I.E.S. *Fuentenueva*. El grupo experimental está constituido por un curso completo de 1º Bachillerato de Ciencias integrado por 25 alumnos, mientras que el

grupo de control lo forma otro curso completo de 1º Bachillerato de Ciencias integrado por 18 alumnos que siguen una metodología tradicional (ver figura 2).

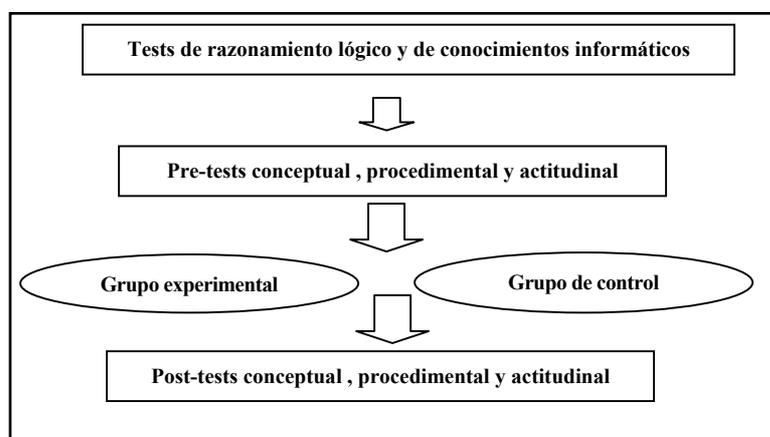


Figura 2. Organigrama del diseño experimental del segundo y tercer trimestres.

Durante el curso 2003-04 participan en el proyecto de innovación 25 estudiantes de Bachillerato de Ciencias y 42 de Educación Secundaria de Adultos en el I.E.S. *Hermenegildo Lanz* de Granada, realizando las actividades de investigación con los distintos entornos de simulación creados con el programa *Interactive Physics*. Por otra parte, 45 alumnos de Bachillerato de Ciencias en el I.E.S. *Fuentenueva* de El Ejido llevan a cabo los trabajos de investigación tutelada con el programa *Mobile*. El diseño experimental para esta fase coincide con el aplicado durante el primer trimestre del curso 2002-03 (ver figura 1).

## 5. Resultados y conclusiones

### 5.1. Fase pre-instruccional

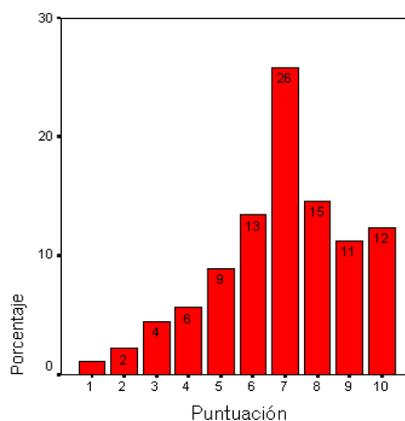
Inicialmente analizaremos el conocimiento científico y la habilidad para el razonamiento formal de los estudiantes en una fase previa al aprendizaje escolar. Para evaluar estas variables se utilizan los cuestionarios correspondientes cumplimentados por el alumnado.

El estudio de fiabilidad del test de razonamiento lógico de Acevedo y Oliva (1995) aplicado a la población investigada da lugar a un coeficiente de Spearman-Brown de 0,53. Este resultado indica la existencia de una moderada estabilidad de la puntuación del

<sup>48</sup> Curso de Formación Permanente del Profesorado: *El ordenador como herramienta cognitiva en la enseñanza de las ciencias experimentales. Simulación por ordenador de fenómenos físicos*. 20 de enero al 18 de febrero de 2003. Centro de Profesorado de El Ejido. Almería.

cuestionario, cuyo valor medio es 6,90 sobre un máximo de 10 puntos, siendo la desviación típica de 2,105.

La distribución porcentual de las puntuaciones obtenidas se muestra en el diagrama de barras representado en la Figura 3.



**Figura 3.** Distribución porcentual de las puntuaciones obtenidas en el Test de Razonamiento Lógico.

A partir de los resultados obtenidos en la prueba, se decide considerar tres grupos de estudiantes en función de su habilidad para el razonamiento formal, como se muestra en la Tabla 2. Esta clasificación facilitará el estudio de las correlaciones entre el nivel de razonamiento lógico y otras variables.

NIVEL	PUNTUACIÓN	PORCENTAJE DE ALUMNOS (%)
Bajo	0 a 7	36
Medio	7	26
Alto	7 a 10	38

**Tabla 2.** Clasificación de los estudiantes según su nivel de razonamiento lógico.

La Tabla 3 presenta el porcentaje de alumnos que responden correctamente a cada uno de los items de la prueba, siendo superior a un 60 % en los distintos tipos de razonamiento excepto en el probabilístico, para el cual menos de un 40 % del alumnado responde adecuadamente.

TIPO DE RAZONAMIENTO	ITEM	PORCENTAJE DE ALUMNOS (%)
Razonamiento proporcional	1	88
	2	85
Control de variables	3	74
	4	76
Razonamiento probabilístico	5	37
	6	39
Razonamiento correlacional	7	80

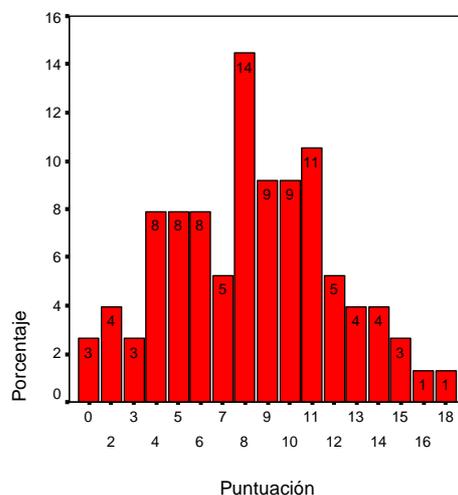
	8	84
Razonamiento combinatorio	9	66
	10	60

**Tabla 3.** Porcentaje de respuestas correctas para cada ítem del Test de Razonamiento

Lógico.  
La Tabla 4 muestra la distribución porcentual de estudiantes que responden correctamente a los distintos ítems del test sobre conceptos de mecánica newtoniana, teniendo en cuenta su nivel de razonamiento lógico.

La persistencia de ciertas ideas erróneas sobre mecánica en los estudiantes, aún después de haber seguido una asignatura de Física elemental en 4º de ESO durante el año anterior, se pone de manifiesto en el bajo porcentaje de respuestas correctas dadas a los ítems del test sobre conceptos de mecánica, independientemente de la habilidad para el razonamiento lógico del alumnado: salvo el porcentaje de respuestas correctas para el ítem 11, el correspondiente a las demás cuestiones es igual o inferior al 75 %. Esta situación se refleja en la baja puntuación media obtenida, tan sólo 8,32 sobre 22 puntos, con una desviación típica de 3,78.

Un 70 % del alumnado responde correctamente a menos de la mitad de los ítems del test conceptual, como se muestra en la Figura 4.



**Figura 4.** Distribución porcentual de las puntuaciones obtenidas en el Test sobre conceptos de mecánica newtoniana.

Los datos recogidos en la Tabla 4 muestran una cierta tendencia a que los alumnos con mayor destreza en el razonamiento formal responden más correctamente a cuestiones de carácter conceptual sobre mecánica. Esto sucede en 15 de los 22 ítems del cuestionario, mientras que en los demás ítems el porcentaje de estudiantes con un nivel medio y bajo de razonamiento lógico que responden correctamente supera al de los estudiantes con un nivel alto.

ITEM	NIVEL DE RAZONAMIENTO LÓGICO		
	ALTO	MEDIO	BAJO
	PORCENTAJE DE ESTUDIANTES		
1	62	25	42
2	58	31	33
3	12	6	0
4	46	50	52
5	15	6	0
6	35	13	15
7	58	31	36
8	38	50	58
9	50	63	70
10	35	44	21
11	85	75	73
12	69	75	61
13	38	38	18
14	54	44	42
15	58	50	42
16	65	31	55
17	65	19	55
18	35	13	24
19	46	19	18
20	23	6	18
21	15	13	15
22	35	13	15

**Tabla 4.** Distribución porcentual de respuestas correctas a los ítems conceptuales de los estudiantes con distinto nivel de razonamiento lógico.

Aunque en la mayoría de los ítems se observan diferencias en las respuestas de los estudiantes según su nivel de razonamiento formal, la técnica no paramétrica de contraste de hipótesis de Kruskal-Wallis no permite inferir la existencia de diferencias significativas en las respuestas formuladas por estudiantes de distintas características cognitivas, excepto para los ítems 17 y 19, como muestran los valores de  $\chi^2$  recogidos en la Tabla 5.

ITEM	$\chi^2$	P	ITEM	$\chi^2$	P
1	5,463	0,065	12	1,107	0,575
2	4,352	0,113	13	3,492	0,174
3	3,817	0,148	14	0,821	0,663
4	0,169	0,919	15	1,342	0,511
5	5,464	0,065	16	4,609	0,100
6	4,172	0,124	17	8,853	0,012*
7	3,738	0,154	18	2,563	0,278
8	2,101	0,350	19	6,421	0,040*
9	2,359	0,307	20	1,960	0,375
10	2,828	0,243	21	0,076	0,963
11	1,219	0,544	22	4,172	0,124

**Tabla 5.** Método de Kruskal-Wallis para evaluar las diferencias en las respuestas a cada ítem de alumnos con distinto nivel de razonamiento lógico. (Grado de libertad = 2)

\* Sólo se detecta diferencia significativa para los ítems 17 y 19.

Esta situación se constata con un valor bajo para el coeficiente de correlación de Pearson ( $\rho = 0,261$ ), que da cuenta de la existencia de una débil correlación con un nivel de significación del 5 % entre la puntuación de los pre-tests y el nivel de razonamiento lógico.

La prueba de Mann-Whitney sólo detecta diferencias significativas en la puntuación del pre-test sobre conceptos entre alumnos con un nivel medio y un nivel alto de razonamiento lógico, obteniendo un valor de  $U = 121,0$  con un nivel de significación del 2,4 %.

El análisis cualitativo de las respuestas dadas por el alumnado permite extraer una serie de categorías en las que subyacen diversos esquemas alternativos. A continuación, las principales categorías de respuestas para cada uno de los ítems del test son organizadas en torno a los distintos dominios conceptuales estudiados.

#### a) Fuerza y movimiento

Los ítems 1, 2, 3, 13 y 22 pretenden indagar las concepciones del estudiante acerca del movimiento de los cuerpos con relación a las fuerzas aplicadas.

El 45 % de los estudiantes refleja en su respuesta al ítem 1 una noción de fuerza próxima al punto de vista newtoniano, considerando la mayoría de estos alumnos que

un cuerpo puede desplazarse sin la intervención de una fuerza externa siempre que haya sido impulsado inicialmente (ver Tabla 6).

En cambio, un 47 % del alumnado mantiene ideas compatibles con la teoría medieval del *ímpetu*, que se manifiestan de manera recurrente en distintos ítems del Test.

Cabe resaltar que en un 14 % de las respuestas se menciona la actuación de la fuerza peso sobre el móvil como argumento para probar posturas antagónicas. Esto es debido a la presencia en los estudiantes de distintas concepciones sobre el peso: unos lo conciben como una propiedad intrínseca del móvil y otros como una fuerza aplicada.

RESPUESTA AL ÍTEM 1	ARGUMENTO	PORCENTAJE DE ESTUDIANTES (%)
Un cuerpo puede moverse sin que actúe sobre él una fuerza	Depende del sistema de referencia	3
	La fuerza se relaciona con la aceleración y no con la velocidad	4
	El cuerpo ya tiene una velocidad o impulso inicial	42
	Un cuerpo cayendo se mueve sin que actúa fuerza sobre él ya que tiene la fuerza de su propio peso	6
Un cuerpo no puede moverse sin que actúe sobre él una fuerza	Un cuerpo en movimiento necesita de una fuerza	37
	Siempre actúa la fuerza de la gravedad	8

**Tabla 6.** Categorías de respuestas al ítem 1.

El ítem 2 está condicionado por una respuesta afirmativa al ítem 1, lo que justifica el exiguo 52 % del número total de estudiantes que responden (Tabla 7).

La mayor parte de las respuestas consideran que un móvil puede desplazarse indefinidamente siempre que no actúe sobre él una fuerza opuesta al movimiento.

Sin embargo, algunos estudiantes mantienen una postura contradictoria, al considerar que un cuerpo puede mantenerse en movimiento sin la actuación de una fuerza, pero su velocidad disminuye porque la fuerza va “perdiéndose”.

Estos planteamientos, explicitados en el segundo ítem, habían permanecido ocultos en las explicaciones al primer ítem y dan pie a reconsiderar a la baja el porcentaje de respuestas compatibles con la concepción newtoniana de fuerza.

RESPUESTA AL ÍTEM 2	ARGUMENTO	PORCENTAJE DE ESTUDIANTES (%)
Un cuerpo puede moverse constantemente sin que actúe sobre él una fuerza	Si no actúa ninguna fuerza opuesta al movimiento	24
	Si la fuerza resultante es nula	4
	Si el rozamiento es nulo	13
Un cuerpo puede moverse sin que actúe sobre él una fuerza, pero no indefinidamente	Depende de la situación física	3
	La velocidad disminuye	3
	El rozamiento frena el movimiento	3
	La fuerza aplicada se va perdiendo	2

**Tabla 7.** Categorías de respuestas al ítem 2.

El ítem 3 profundiza sobre la relación entre el movimiento de un cuerpo y las fuerzas aplicadas sobre él, planteando al estudiante una situación física en la que un cuerpo es sometido a dos fuerzas opuestas.

Tan sólo un 7% de los estudiantes cree que un cuerpo se puede mover cuando la fuerza aplicada es opuesta a la fuerza de rozamiento (ver Tabla 8), frente a un 45 % que en el ítem 1 considera posible el movimiento de un cuerpo sin la actuación de una fuerza.

Más de las tres cuartas partes del alumnado emplea distintos términos para justificar que un cuerpo sometido a dos fuerzas opuestas no puede moverse. Algunos de estos estudiantes afirman que el movimiento se producirá cuando una de las dos fuerzas aplicadas supere a la otra.

RESPUESTA AL ÍTEM 3	ARGUMENTO	PORCENTAJE DE ESTUDIANTES (%)
Un cuerpo se puede mover cuando se le aplica una fuerza de igual módulo pero de sentido opuesto a la fuerza de rozamiento.	Conserva el estado inicial ya que la fuerza resultante es cero	5
	Si lleva una velocidad inicial	3
Un cuerpo no se puede mover cuando se le aplica una fuerza de igual módulo pero de sentido opuesto a la fuerza de rozamiento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La fuerza resultante es cero.</li> <li>- Desaparecen las fuerzas.</li> <li>- Las fuerzas se contrarrestan.</li> <li>- Existe un equilibrio de fuerzas.</li> <li>- Las fuerzas se anulan.</li> <li>- Las fuerzas se igualan.</li> <li>- Las fuerzas se compensan.</li> </ul>	92

**Tabla 8.** Categorías de respuestas al ítem 3.

El ítem 13 trata de indagar la creencia del alumnado acerca de la relación existente entre la fuerza aplicada sobre un móvil y la dirección de su movimiento.

Más de la mitad de los estudiantes considera que un cuerpo se mueve en la misma dirección y sentido de la fuerza aplicada sobre él (Tabla 9), aunque un 20 % matiza su respuesta indicando que el movimiento tiene lugar en la dirección y sentido de la fuerza resultante, cuando un sistema de fuerzas actúa sobre el móvil.

La mayoría de los alumnos que distingue la dirección del movimiento de un móvil y de la fuerza aplicada, justifica su respuesta aludiendo a situaciones físicas concretas en las que actúa la fuerza de rozamiento, la fuerza normal o el peso.

RESPUESTA AL ÍTEM 13	ARGUMENTO	PORCENTAJE DE ESTUDIANTES (%)
Un cuerpo no siempre se mueve en la dirección y sentido de la fuerza aplicada	- La fuerza de rozamiento siempre actúa sobre un cuerpo en movimiento. - La fuerza normal actúa sobre un cuerpo apoyado sobre una superficie. - La fuerza peso actúa sobre un cuerpo lanzado verticalmente hacia arriba.	21
	Depende de la zona del cuerpo donde se aplique la fuerza	7
	Depende de la trayectoria descrita por el móvil	5
Un cuerpo siempre se mueve en la dirección y sentido de la fuerza aplicada	Sólo en el vacío porque no actuaría otra fuerza	4
	En la dirección y sentido de la fuerza resultante	21
	En la dirección y sentido de la fuerza aplicada	42

**Tabla 9.** Categorías de respuestas al ítem 13.

Por último, el ítem 22 plantea una situación física, diseñada y aplicada por Viennot<sup>50</sup> (1996), para detectar las ideas de los alumnos sobre la relación existente entre la velocidad de un móvil y la fuerza aplicada sobre él.

Para ello, se propone una serie de cuerpos que en un determinado instante se encuentran situados a la misma altura, con distintas velocidades instantáneas y describiendo diferentes trayectorias.

Casi las tres cuartas partes de los estudiantes consideran la aplicación de fuerzas diferentes como la causa de que varios cuerpos hayan descrito distintas trayectorias y presenten en un cierto instante diversas velocidades (Tabla 10).

Por consiguiente, la mayoría de los alumnos mantiene para los términos de velocidad y de fuerza una acepción propia del lenguaje coloquial, que le impide distinguir entre ambos conceptos.

El análisis de los argumentos esgrimidos por el alumnado corrobora los resultados obtenidos por Viennot en un estudio realizado en Francia y Bélgica con estudiantes de último curso de educación secundaria y de primer curso universitario.

RESPUESTA AL ÍTEM 22	PORCENTAJE DE ESTUDIANTES (%)
Las fuerzas son de igual módulo pero de distintos sentido y dirección	4
La misma fuerza peso	26
Distintas fuerzas ya que los móviles tienen distintas velocidades y trayectorias	70

**Tabla 10.** Categorías de respuestas al ítem 22.

### b) Movimiento Oblicuo y velocidad

Los ítems 4, 16, 18 y 20 tratan de indagar las concepciones del alumnado sobre el movimiento compuesto que describe un cuerpo cuando es abandonado desde un móvil. Con esta finalidad, la cuestión 4 propone comparar los tiempos que tardan dos objetos idénticos en llegar al suelo, tras ser abandonados desde sendos móviles que se desplazan con velocidades distintas pero a la misma altura.

Un 57 % de los estudiantes cree que los cuerpos llegan juntos al suelo, de los cuales una mitad considera que la velocidad del móvil no influye en la caída del cuerpo, mientras que la otra mitad emplea argumentos dispares para justificar su respuesta (Tabla 11).

De todos modos, la respuesta más recurrente, con un 34 %, es que el objeto lanzado desde el móvil más lento describe una trayectoria rectilínea, por lo que llega al suelo antes que el objeto lanzado desde el móvil más rápido.

Estos resultados son coherentes con los obtenidos por Oliva<sup>49</sup> (1994) con alumnos de 2º de BUP mediante cuestiones análogas.

<sup>49</sup> Oliva, J.M. (1994). *Influencia de las variables cognitivas en la construcción de conocimientos de mecánica. Un estudio empírico y un análisis computacional*. Tesis Doctoral. UNED.

RESPUESTA AL ÍTEM 4	ARGUMENTO	PORCENTAJE DE ESTUDIANTES (%)
Las dos bolas llegan al mismo tiempo	Tienen la misma masa	8
	La aceleración en el eje OY es la misma para ambos cuerpos	8
	La velocidad del avión no influye	28
	Suponiendo el vacío	6
	Caen desde la misma altura	7
La bola lanzada desde el avión más lento llega antes	La trayectoria es directa hacia el suelo mientras que la pelota del avión más rápido se desplaza en la dirección horizontal	34
	Pierde antes la velocidad que llevaba el avión y cae libremente	1
La bola lanzada desde el avión más rápido llega antes	Lleva más energía cinética	1
	Por inercia lleva la misma velocidad que el avión y por tanto cae antes	7

**Tabla 11.** Categorías de respuestas al ítem 4.

Las cuestiones 16, 18 y 20 fueron elaboradas por Whitaker<sup>50</sup> (1983) para investigar las ideas sobre composición de movimientos en alumnos de los primeros cursos universitarios.

El ítem 16 interroga al estudiante sobre el lugar del suelo contra el que impacta un objeto abandonado desde un móvil.

Un 62 % del alumnado responde correctamente, aunque poco más de la mitad de estos alumnos (35 % del número total) considera que el cuerpo durante su caída mantiene su componente horizontal de la velocidad igual a la velocidad del móvil (Tabla 12).

La tercera parte de los estudiantes cree que el objeto queda retrasado con respecto al móvil, ya que suponen nula la componente horizontal de su velocidad.

Estos resultados están acordes con los datos recogidos por Whitaker.

<sup>50</sup> Whitaker, R.J. (1983). Aristotle is not dead: student understanding of trajectory motion. *American Journal of Physics*, 51, 325-327.

RESPUESTA AL ÍTEM 16	ARGUMENTO	PORCENTAJE DE ESTUDIANTES (%)
El tornillo cae dentro del agujero	El tornillo lleva la misma velocidad que el tren	35
	El tornillo no siente fuerzas exteriores al tren	7
	No hay inercia	6
	Sólo actúa la gravedad y el rozamiento	1
	La velocidad del tren no influye en el movimiento y la trayectoria del tornillo	3
	Sin explicación	10
El tornillo cae fuera del agujero	Cae detrás porque el tren sigue hacia adelante	34
	Por efecto del rozamiento	3
	Sin explicación	1

**Tabla 12.** Categorías de respuestas al ítem 16.

El ítem 18 plantea una situación física semejante a la anterior cuestión, con la diferencia de que ahora el movimiento del objeto abandonado desde el móvil no tiene lugar en un recinto cerrado.

En este caso, la distribución porcentual se invierte, de manera que un 70 % del alumnado cree que el objeto durante su caída queda retrasado respecto al barco (Tabla 13). Esta respuesta se justifica en la creencia de que el cuerpo, al ser abandonado por el móvil, pierde instantáneamente la componente horizontal de la velocidad y por tanto, cae según un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.

Tan sólo un 16 % de los estudiantes distingue el movimiento descrito por el cuerpo en el vacío y en el aire.

	ESTUDIANTES (%)
La bola cae al pie del palo mayor si estuviera en el vacío	8
La bola cae detrás del palo mayor si hay aire	8
La bola cae detrás del palo mayor porque mientras está en el aire el barco sigue moviéndose	62
La bola cae al pie del palo mayor	22

**Tabla 13.** Categorías de respuestas al ítem 18.

A partir del enunciado del ítem 18, la cuestión 20 propone una situación para evaluar las ideas de los estudiantes sobre la influencia de la velocidad del móvil en el movimiento del objeto.

Un 60 % del alumnado considera que si la velocidad del móvil fuera mayor entonces el objeto impactaría contra el suelo en una posición más distante, ya que éste describe una caída libre mientras el otro móvil sigue un movimiento rectilíneo uniforme (Tabla 14).

Una tercera parte de los estudiantes cree que la velocidad del móvil no influye en el movimiento del objeto abandonado.

RESPUESTA AL ÍTEM 20	PORCENTAJE DE ESTUDIANTES (%)
La bola cae al pie del palo mayor si estuviera en el vacío, mientras que en el aire cuanto mayor sea la velocidad del barco, más lejos caerá del palo mayor	8
La bola caerá más lejos del palo mayor cuanto mayor sea la velocidad del barco	60
La bola cae al pie del palo mayor	21
La bola cae detrás del palo mayor, a la misma distancia que cuando el barco navega con menos velocidad	11

**Tabla 14.** Categorías de respuestas al ítem 20.

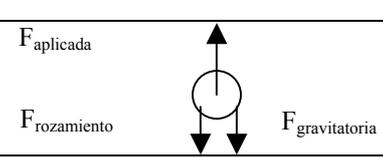
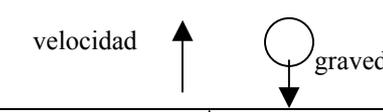
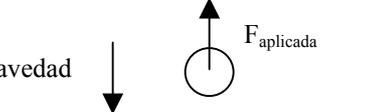
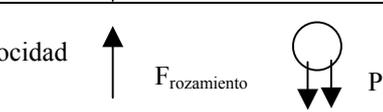
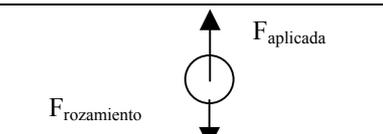
### c) Representación gráfica de fuerzas y trayectorias

Los ítems 5, 6, 7 y 15 pretenden recoger las ideas de los alumnos acerca de la representación vectorial de las fuerzas aplicadas sobre cuerpos en diferentes estados de movimiento.

Los tres primeros ítems pertenecen a un cuestionario elaborado por Viennot<sup>51</sup> (1979) para diagnosticar las ideas previas del alumnado acerca de las fuerzas aplicadas sobre un cuerpo lanzado verticalmente hacia arriba. El ítem 15, analizado por Hierrezuelo y Montero en su manual de “La Ciencia de los alumnos”, propone el estudio de la caída de un paracaidista. Las cuestiones 17, 19 y 21 tratan sobre la representación gráfica de las trayectorias descritas por los móviles que intervienen en las situaciones planteadas en los ítems 16, 18 y 20, respectivamente.

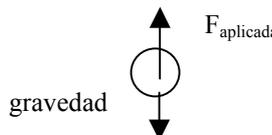
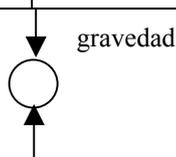
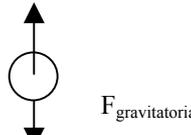
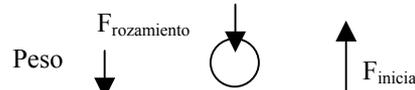
El 86 % de los alumnos identifica una fuerza aplicada en el sentido del movimiento sobre el objeto que ha sido lanzado verticalmente hacia arriba (Tablas 15 y 16). Los estudiantes emplean distintas denominaciones para referirse a ella: empuje, fuerza de la mano, fuerza aplicada, fuerza inicial, impulso, etc. Este resultado es coherente con las respuestas dadas por los alumnos a los ítems 1, 2 y 3.

Una tercera parte del alumnado dibuja las fuerzas olvidando situar el punto de aplicación en el cuerpo sobre el que actúan. Casi la mitad de los estudiantes identifican la gravedad con una fuerza. Algunos alumnos distinguen entre fuerza peso y fuerza gravitatoria. Tan sólo un 6 % de los estudiantes dibuja correctamente las fuerzas aplicadas sobre el objeto durante su ascenso.

RESPUESTA AL ÍTEM 5	PORCENTAJE DE ESTUDIANTES (%)
	21
	4
	3
	6
	8

**Tabla 15.** Categorías de respuestas al ítem 5.

<sup>51</sup> Viennot, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*, 1(2), 205-222.

RESPUESTA AL ÍTEM 5	PORCENTAJE DE ESTUDIANTES (%)
	24
	7
	12
	4
	11

**Tabla 16.** Categorías de respuestas al ítem 5.

El ítem 6 propone a los estudiantes dibujar las fuerzas aplicadas sobre un objeto cuando se detiene después de haber sido lanzado hacia arriba.

Casi la mitad del alumnado que considera la existencia de una fuerza impulsora del objeto durante el ascenso (38 % del número total), sigue reconociendo la presencia de dicha fuerza cuando el objeto alcanza la máxima altura (Tabla 17). La mayoría de estos alumnos justifican que el objeto se detiene debido a la compensación de la fuerza aplicada con el peso.

Ningún estudiante dibuja la fuerza peso correctamente, por lo que se puede inferir que el ítem 6 plantea una situación de especial dificultad.

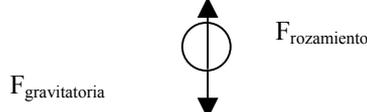
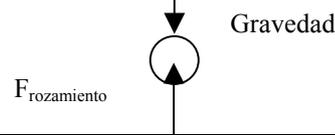
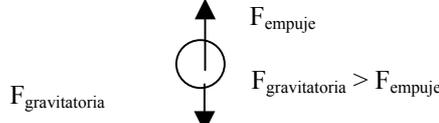
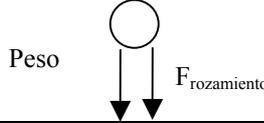
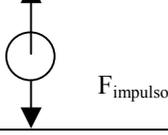
Por el contrario, las fuerzas involucradas en el descenso del cuerpo son dibujadas correctamente en un 47 % de las respuestas al ítem 7 (ver Tabla 18).

El porcentaje de alumnos que sigue recurriendo a una fuerza impulsora para explicar el movimiento del objeto disminuye a un 13 %.

RESPUESTA AL ITEM 6	PORCENTAJE DE ESTUDIANTES (%)
	2
	33
	17
	2
	34
	3
	3
	5
	1

Tabla 17. Categorías de respuestas al ítem 6.

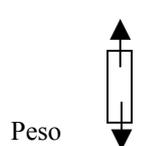
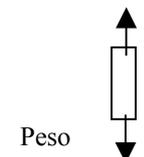
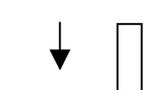
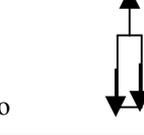
RESPUESTA AL ITEM 7	PORCENTAJE DE ESTUDIANTES (%)
---------------------	-------------------------------

	8
	18
	47
	3
	8
	8
	3
	3
	2

**Tabla 18.** Categorías de respuestas al ítem 7.

Un 62 % del alumnado dibuja correctamente las fuerzas aplicadas sobre el paracaidista durante la caída (Tabla 19). La tercera parte de los estudiantes no sabe situar correctamente el punto de aplicación de las fuerzas.

RESPUESTA AL ÍTEM 15	PORCENTAJE DE ESTUDIANTES (%)
----------------------	-------------------------------

	4
	62
	10
	21
	2
	1

**Tabla 19.** Categorías de respuestas al ítem 15.

Los ítems 17 y 19 interrogan al alumnado sobre la trayectoria descrita por un objeto cuando es abandonado desde otro móvil, que en el primer caso está representado por un vagón de tren y en el segundo por un barco.

Aunque las situaciones físicas son equivalentes, las respuestas de los estudiantes son completamente distintas (Tabla 20 y 21): un 65 % considera que un objeto caído del techo de un vagón de tren describe una trayectoria rectilínea, mientras que si cayera del palo mayor de un barco, un porcentaje parecido de alumnos cree que la trayectoria sería una parábola.

En cuanto a la influencia de la velocidad del móvil en la trayectoria del objeto que se deja caer, un 60 % del alumnado cree que si el móvil se desplaza más rápido entonces la trayectoria del grave será una parábola más pronunciada (Tabla 22).

RESPUESTA AL ÍTEM 17	PORCENTAJE DE ESTUDIANTES (%)
Trayectoria rectilínea	65

Trayectoria parabólica	35
------------------------	----

**Tabla 20.** Categorías de respuestas al ítem 17.

RESPUESTA AL ÍTEM 19	PORCENTAJE DE ESTUDIANTES (%)
La bola cae en línea recta en el vacío	8
La bola describe una parábola si hay aire	8
La bola describe una parábola porque mientras está en el aire el barco sigue moviéndose	62
La bola cae en línea recta	22

**Tabla 21.** Categorías de respuestas al ítem 19.

RESPUESTA AL ÍTEM 21	PORCENTAJE DE ESTUDIANTES (%)
La bola describe una trayectoria rectilínea si estuviera en el vacío, mientras que en el aire describiría una trayectoria parabólica	8
La bola describe una trayectoria parabólica, más pronunciada cuanto mayor sea la velocidad del barco	60
La bola describe una trayectoria rectilínea	21
La bola describe la misma trayectoria parabólica que cuando el barco navega con menos velocidad	11

**Tabla 22.** Categorías de respuestas al ítem 21.

#### d) Peso, gravedad y caída libre de graves

Los ítems 8, 9, 11 y 14 tratan de indagar las ideas de los estudiantes sobre el comportamiento de los cuerpos en caída libre. Las tres primeras cuestiones plantean la caída desde una misma altura de dos cuerpos con distinta masa pero igual volumen y forma. El ítem 14 propone el estudio de la velocidad de caída de un paracaidista.

Una tercera parte de los estudiantes distingue entre el peso de los cuerpos en el vacío y en el aire, creyendo que en el vacío los cuerpos no pesan o pesan lo mismo independientemente de sus masas (Tabla 23).

RESPUESTA A LOS ÍTEMS 8 Y 9	PORCENTAJE DE ESTUDIANTES (%)
La misma fuerza sobre ambas botellas en el vacío	30
Una fuerza mayor actúa sobre la botella vacía	2

Una fuerza mayor actúa sobre la botella llena	60
Una fuerza mayor actúa sobre la botella llena en el aire	8

**Tabla 23.** Categorías de respuestas a los ítems 8 y 9.

En respuesta al ítem 11, sólo un 25 % de los estudiantes considera que dos objetos con distinta masa, abandonados a la misma altura, llegan juntos al suelo si estuvieran en el vacío (Tabla 24).

Un 60 % del alumnado cree que el cuerpo más pesado llega antes al suelo, independientemente del medio circundante.

RESPUESTA AL ÍTEM 11	PORCENTAJE DE ESTUDIANTES (%)
Las dos botellas llegan a la vez en el vacío	25
La botella con agua llega antes en el aire	15
La botella con agua llega antes	60

**Tabla 24.** Categorías de respuestas al ítem 11.

Un 62 % del alumnado considera en respuesta al ítem 14 que un paracaidista no aumenta constantemente su velocidad durante la caída (Tabla 25).

Aunque las explicaciones ofrecidas para justificar esta respuesta son diversas, dos argumentos predominan sobre los demás con un 48 % del número total de respuestas: *la fuerza de rozamiento frena constantemente al paracaidista y la velocidad de caída aumenta hasta conseguir un valor máximo que se mantiene constante.*

RESPUESTA AL ÍTEM 14	ARGUMENTO	PORCENTAJE DE ESTUDIANTES (%)
----------------------	-----------	-------------------------------

El paracaidista no aumenta la velocidad constantemente durante su caída	Llega un momento en el que la fuerza peso es igual a la fuerza de rozamiento y la velocidad es constante	5
	La velocidad se mantiene constante hasta que abre el paracaídas y a partir de entonces disminuye.	1
	Aceleraría constantemente hasta alcanzar la velocidad máxima, que se mantendría constante	22
	Cada vez se frena más	1
	Aumenta la velocidad hasta que abre el paracaídas y comienza a disminuir hasta detenerse	4
	La velocidad siempre es constante	1
	Aumenta la velocidad hasta que abre el paracaídas y comienza a disminuir	8
	La fuerza de rozamiento lo frena constantemente	26
	La velocidad disminuye hasta estabilizarse	4
El paracaidista aumenta la velocidad constantemente durante su caída	El peso es mayor que la fuerza de rozamiento	7
	La velocidad aumenta debido a la fuerza gravitatoria	12
	La aceleración aumenta a medida que el paracaidista va descendiendo	1
	El paracaidista soporta cada vez más aire sobre él	8

**Tabla 25.** Categorías de respuestas al ítem 14.

### e) Fuerza y aceleración

Los ítems 10 y 12 tratan de indagar en las ideas del alumnado sobre la relación entre los conceptos de fuerza y de aceleración, a partir de la situación planteada en el ítem 8.

Un 71 % de los estudiantes asocia una mayor aceleración de caída a los objetos de mayor peso (Tabla 26).

Una cuarta parte de los alumnos considera que en el vacío los cuerpos caen con la misma aceleración, independientemente de su masa.

Este porcentaje se corresponde con el obtenido en respuesta al ítem 12, al considerar que los objetos llegan con la misma velocidad al suelo cuando son abandonados desde la misma altura (Tabla 27).

RESPUESTA AL ÍTEM 10	PORCENTAJE DE ESTUDIANTES (%)
Ambas botellas caen con la misma aceleración en el vacío	29
La botella con agua cae con más aceleración en el aire	14
La botella con agua cae con más aceleración	57

**Tabla 26.** Categorías de respuestas al ítem 10.

RESPUESTA AL ÍTEM 12	PORCENTAJE DE ESTUDIANTES (%)
Ambas botellas llegan con la misma velocidad en el vacío	25
Ambas botellas llegan con la misma velocidad	4
La botella con agua llega con más velocidad en el aire	20
La botella con agua llega con más velocidad	50
La botella vacía llega con más velocidad	1

**Tabla 27.** Categorías de respuestas al ítem 12.

Un cuestionario integrado por 9 ítems, extraídos del test sobre procedimientos científicos TIPS de Dillashaw y Okey (1980), permite evaluar el conocimiento del alumnado sobre algunos procedimientos científicos. La estabilidad en los resultados de la prueba está garantizada por un coeficiente de fiabilidad de Spearman-Brown de 0,71.

La puntuación media obtenida por los estudiantes es 5,66 sobre un máximo de 9 puntos, con una desviación típica de 1,82. La distribución porcentual de las respuestas correctas a los distintos ítems de la prueba es mostrada en la Tabla 28.

Los resultados más destacables son la dificultad del alumnado en la identificación de la variable dependiente en un problema y la confusión entre las variables dependiente e independiente, que se deriva del bajo porcentaje de respuestas correctas al ítem 2.

CONTENIDO PROCEDIMENTAL	ÍTEM	PORCENTAJE DE ALUMNOS (%)
Identificación de la variable dependiente	1	30
Definición operacional de una variable	2	32
	5	86
Identificación de variables independientes	3	73
Establecimiento de hipótesis contrastables	4	39
	6	55
Selección de un diseño experimental adecuado para contrastar una hipótesis	7	61
Representación gráfica de datos	8	95
Interpretación de una gráfica	9	95

**Tabla 28.** Distribución porcentual de las respuestas correctas en el Test sobre procedimientos científicos.

La Tabla 29 muestra los coeficientes de correlación de Pearson entre los ítems del cuestionario sobre procedimientos científicos con objeto de examinar la validez de constructo, dando cuenta de una correlación significativa en un 44 % de los casos.

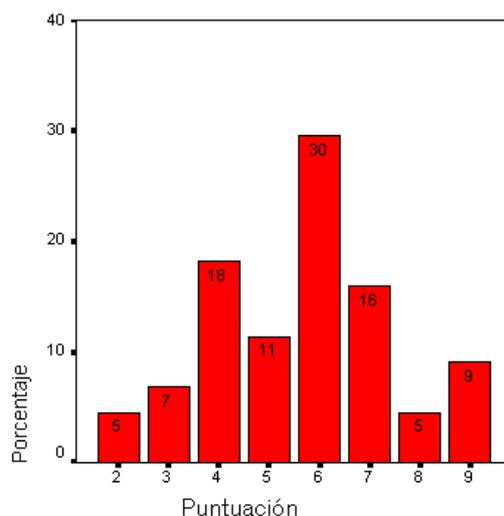
ITEM	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,173	0,268	0,276	0,390**	0,227	0,337*	0,262	0,516**
2		0,047	0,284	0,081	0,265	0,372**	0,074	0,225
3			0,135	0,363*	0,152	0,334*	0,504**	0,356*
4				0,141	0,383**	0,290*	0,116	0,260
5					0,389**	0,237	0,534**	0,534**
6						0,363*	0,214	0,352*
7							0,261	0,122
8								0,552**

**Tabla 29.** Coeficientes de correlación de Pearson entre los ítems del cuestionario sobre procedimientos científicos.

\*\* Correlación significativa al nivel 0,01.

\* Correlación significativa al nivel 0,05.

La distribución porcentual de las puntuaciones obtenidas en la prueba es mostrada en la Figura 4.



**Figura 4.** Distribución porcentual de las puntuaciones obtenidas en el Test sobre procedimientos científicos.

Con objeto de facilitar el análisis de las correlaciones entre el nivel de conocimiento procedimental y otras variables, se establecen tres subgrupos de alumnos atendiendo a su nivel de conocimiento procedimental, tal como se muestra en la Tabla 30.

NIVEL	PUNTUACIÓN	PORCENTAJE DE ALUMNOS (%)
Bajo	0 a 5	30
Medio	5 a 6	40
Alto	Más de 6	30

**Tabla 30.** Clasificación de los alumnos según su nivel de conocimiento procedimental.

La técnica de Kruskal-Wallis de contraste de hipótesis no detecta diferencias significativas en el nivel de conocimiento procedimental en alumnos con distinto nivel de razonamiento lógico (Tabla 31).

ITEM	$\chi^2$	P
1	2,947	0,229
2	2,818	0,244
3	0,087	0,958
4	1,004	0,605
5	1,731	0,421
6	2,197	0,333
7	5,490	0,064
8	3,824	0,148
9	2,356	0,308

**Tabla 31.** Prueba de Kruskal-Wallis para el análisis de diferencias en las respuestas al test procedimental según el nivel de razonamiento lógico.

Con objeto de evaluar las actitudes y las creencias del alumnado sobre la ciencia, su aprendizaje y sus implicaciones sociales se han empleado distintos tests, que han sido validados por sus autores con estudiantes de educación secundaria.

### Test de Penichet y Mato

Este cuestionario de escala Likert contiene 7 ítems con un enunciado positivo hacia la ciencia y otros 6 con un enunciado negativo, a los que el estudiante responde seleccionando una de las cinco opciones que representan distintos grados de acuerdo o desacuerdo con el enunciado del ítem.

El coeficiente de fiabilidad de Spearman-Brown obtenido para las respuestas al test de Penichet y Mato es de 0,77, lo que supone un indicador de estabilidad aceptable. La puntuación media obtenida es de 50,63, con una desviación típica de 4,98. La Tabla 32 muestra los coeficientes de correlación de Pearson entre los ítems del cuestionario, dando cuenta de una correlación significativa en un 27 % de los casos.

ITEM	2	3	4	5	6	7
1	0,051	0,130	0,097	0,309*	0,119	0,207
2		0,159	0,448	0,103	0,428**	0,224
3			0,224	0,041	0,381**	0,093
4				- 0,031	0,264	0,124
5					0,107	0,198
6						0,462**

ITEM	8	9	10	11	12	13
1	0,217	0,129	0,285*	- 0,017	- 0,028	0,014
2	0,137	0,100	0,448**	0,132	0	0,344*
3	0,242	0,311*	0,350*	0,120	0,248	0,503*
4	0,183	0,165	0,556**	- 0,090	- 0,011	0,450*
5	0,395**	0,108	0,006	0,234	- 0,161	0,053
6	0,325*	0,125	0,330*	0,161	0,141	0,224

ITEM	8	9	10	11	12	13
7	0,450**	0,047	0,172	0,316*	0	0,276
8		0,141	0,173	0,284*	0,109	0,147
9			0,169	0,301*	0,071	0,067
10				0,006	- 0,038	0,482*
11					0,288*	0,004
12						0

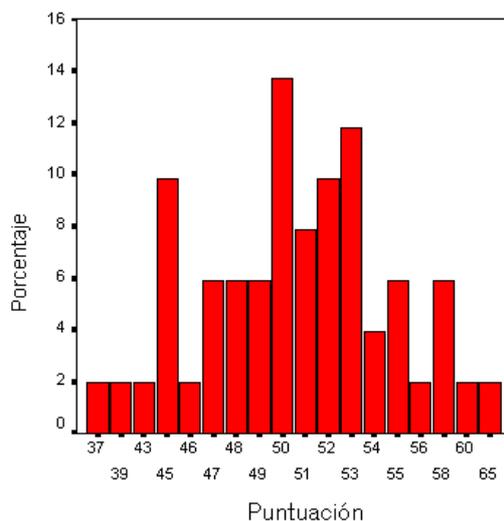
**Tabla 32.** Coeficientes de correlación de Pearson entre los ítems del cuestionario de Penichet y Mato sobre actitudes hacia la ciencia.

\*\* Correlación significativa al nivel 0,01.

\* Correlación significativa al nivel 0,05.

Un análisis factorial llevado a cabo con carácter exploratorio mediante el método de los componentes principales, permite inferir la existencia de cuatro factores que explican un 60 % de la varianza total de las respuestas al test.

La Figura 5 muestra la distribución porcentual de las puntuaciones obtenidas en el cuestionario.



**Figura 5.** Distribución porcentual de las puntuaciones obtenidas en el test de Penichet y Mato.

La prueba de Kruskal-Wallis detecta diferencias significativas en la actitud inicial hacia la ciencia de estudiantes con distinto rendimiento académico, obteniéndose un valor de  $\chi^2 = 8,035$  con 2 grados de libertad y un nivel de significación del 1,8 %.

Con objeto de facilitar el análisis de las correlaciones entre la actitud hacia la ciencia y otras variables, se decide establecer tres subgrupos de alumnos atendiendo a su nivel de actitud hacia la ciencia, tal como se muestra en la Tabla 33.

NIVEL	PUNTUACIÓN	PORCENTAJE DE ALUMNOS (%)
Bajo	0 a 49	35
Medio	49 a 52	26
Alto	Más de 52	39

**Tabla 33.** Clasificación de los alumnos según su actitud hacia la ciencia medida a través del Test de Penichet y Mato.

Un valor para el coeficiente de correlación de Pearson de 0,511 informa de una correlación significativa con un nivel de significación del 3,6 % entre las puntuaciones

obtenidas en el Test sobre la actitud hacia la ciencia y el cuestionario sobre procedimientos científicos.

En cambio, la correlación entre los niveles de conocimiento conceptual y actitudinal sólo es significativa para la muestra de alumnos considerada en la tercera fase de la investigación, obteniéndose un coeficiente de correlación de Pearson de 0,565 con un nivel de significación del 5 %.

### **Test de García**

Este cuestionario presenta dos bloques con distinto formato: una primera parte constituida por 11 ítems a los que el estudiante responde seleccionando una de las cinco opciones que representan distintos grados de acuerdo o desacuerdo y otra sección, que plantea 4 ítems de opción múltiple.

La Tabla 34 muestra que al menos un 70 % del alumnado está de acuerdo con las cuestiones que se plantean en la primera parte del Test de García, salvo con el ítem referente al rol activo del estudiante de ciencias, en el que menos de la mitad del alumnado considera necesario recoger otros datos distintos a los ofrecidos por el problema abordado.

Este dato pone de manifiesto la tendencia del profesorado de ciencias a plantear a sus alumnos casi exclusivamente problemas cerrados, cuyo enunciado reúne toda la información relevante para su resolución.

En cuanto a la concepción del alumnado acerca del origen de la Ciencia, casi la mitad mantiene un pensamiento inductivista, al asumir los hechos y los datos experimentales como punto de partida del conocimiento científico.

Casi tres cuartas partes de los estudiantes creen que el objetivo de la Ciencia es crear modelos que ayuden a la comprensión de los fenómenos naturales.

La validez de las soluciones propuestas por la Ciencia a los problemas se fundamenta en su capacidad de explicar los fenómenos naturales para más de la mitad de los alumnos.

Por último, todas las respuestas consideran que el avance de la Ciencia es ilimitado ya que surgen continuamente nuevos problemas.

ITEM	INDICADOR	PORCENTAJE DE RESPUESTAS			
		A	B	C	D
1	Multicausalidad	16	53	24	6
2	Enfoque teórico-práctico	47	43	4	6
3	Pensamiento divergente	47	45	8	0
4	Multicontextualización	18	63	18	0
5	Apertura cognoscitiva	35	41	22	0
6	Enfoque relacional	20	57	18	6
7	Carácter social del conocimiento	35	49	16	0
8	Persistencia	18	67	10	6
9	Preferencia	20	55	16	8
10	Aceptación	12	63	24	0
11	Rol activo	10	37	43	10

**Tabla 34.** Distribución porcentual de las respuestas de los alumnos a la primera parte del Test de García.

ITEM	INDICADOR	PORCENTAJE DE RESPUESTAS			
		A	B	C	D
12	Origen de la Ciencia	29	0	46	25
13	Función de la Ciencia	12	20	68	-
14	Validez de la Ciencia	6	39	55	-
15	Límites de la Ciencia	0	0	100	-

**Tabla 35.** Distribución porcentual de las respuestas de los alumnos a la segunda parte del Test de García.

### Test de Vázquez y Manassero

La Tabla 36 refleja que aproximadamente la mitad del alumnado concibe los modelos científicos como copias exactas de la realidad, recurriendo a las evidencias científicas como pruebas de su veracidad (explicación G) u otorgando un carácter intemporal a su validez (explicación F), como se muestra en la Figura 6.

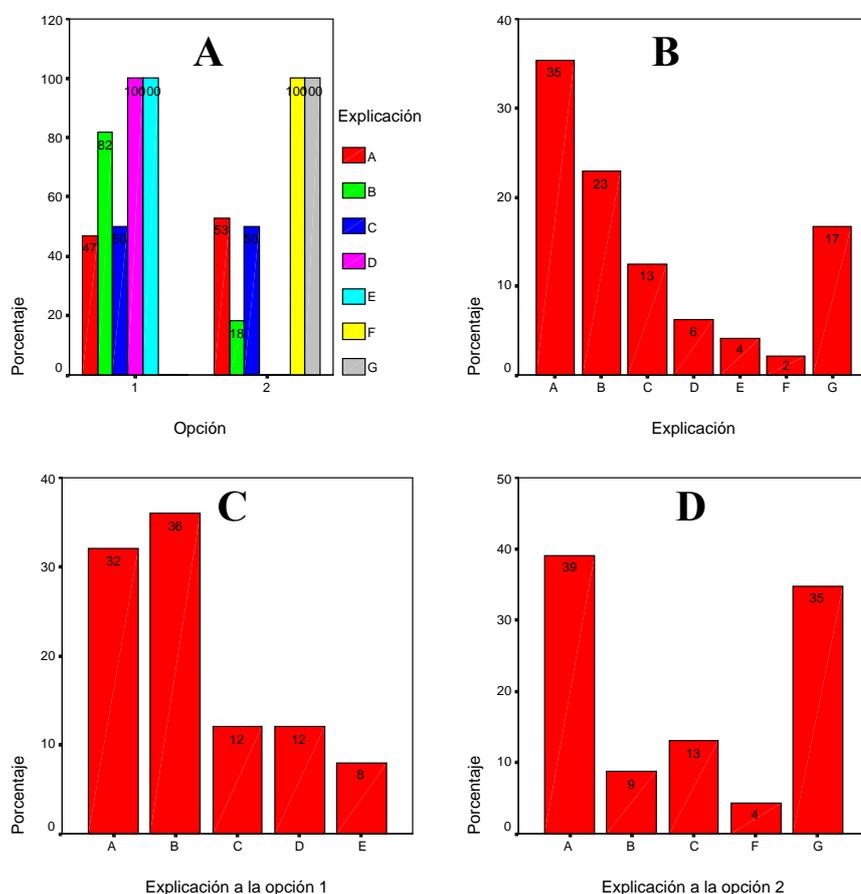
La otra mitad de los estudiantes considera los modelos científicos como metáforas útiles para la comprensión de la Naturaleza, que cambian conforme avanza nuestro conocimiento (explicación B).

ITEM	PORCENTAJE DE RESPUESTAS
------	--------------------------

	1	2	3
1	52	48	-
2	27	73	-
3	2	98	-
4	15	85	-
5	60	40	-
6	73	19	8

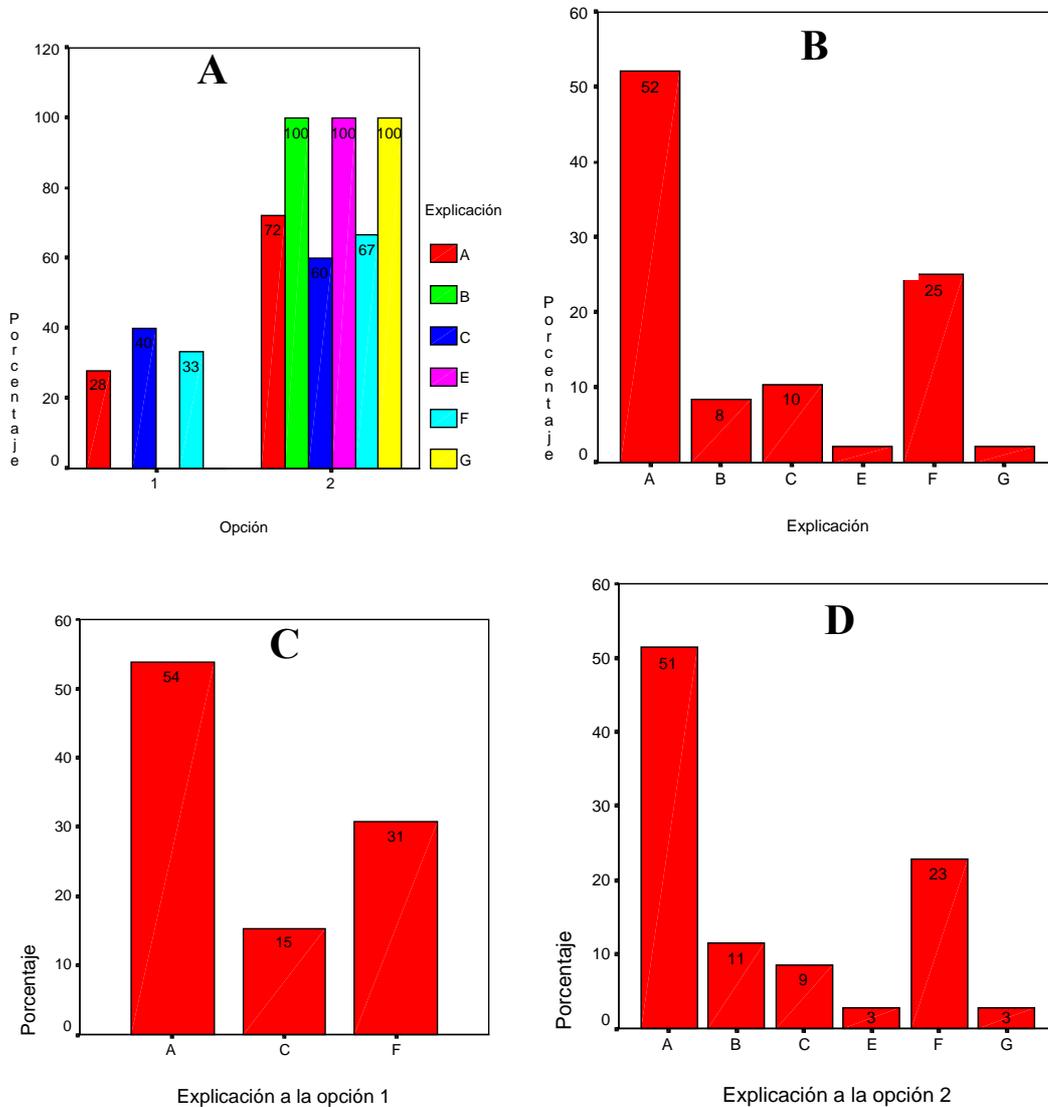
**Tabla 36.** Distribución porcentual de las respuestas al Test de Vázquez y Manassero.

Como se puede observar en la Figura 6, argumentos como *los modelos son útiles para aprender y explicar* (explicación A) y *los modelos pueden representar propiedades de la realidad* (explicación C) son empleados igualmente para justificar la concepción del modelo científico como metáfora y como copia de la realidad.



Las tres cuartas partes del alumnado creen que no existe una única forma de clasificar cuando se construye el conocimiento científico (ver Tabla 36), justificando su postura (ver Figura 7) mediante distintos argumentos, entre los que predominan dos: *los nuevos descubrimientos pueden conducir a diferentes clasificaciones* (explicación A) y *hay*

varias formas de clasificar, pero el acuerdo entre los científicos sobre un sistema evita la confusión en su trabajo (explicación F). Las explicaciones A y F también son empleadas por la mitad y la tercera parte de los estudiantes, respectivamente, para justificar que las clasificaciones establecidas por los científicos son las únicas correctas.



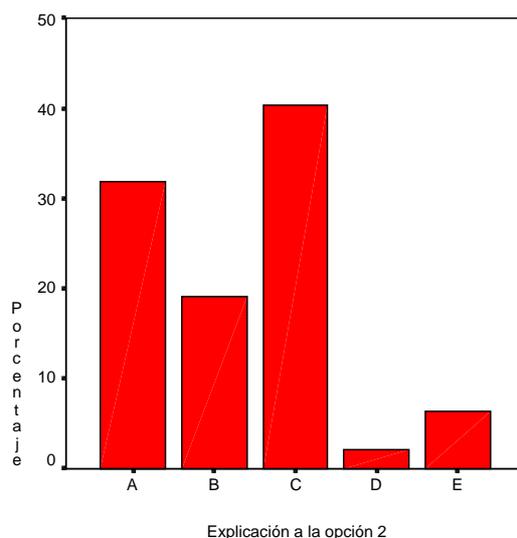
**Figura 7.** Distribución porcentual de las explicaciones al ítem 2.

- A) Diagrama de barras de la distribución de las explicaciones asociadas a cada opción.
- B) Diagrama de barras de la distribución de las explicaciones independientemente de la opción escogida.
- C) Diagrama de barras de la distribución de las explicaciones asociadas a la opción 1.
- D) Diagrama de barras de la distribución de las explicaciones asociadas a la opción 2.

En respuesta al ítem 3, la gran mayoría de los estudiantes considera que el conocimiento científico puede cambiar en el futuro (ver Tabla 36), justificándolo mediante dos argumentos principalmente (ver Figura 8): *el conocimiento científico siempre ha*

*cambiado* (explicación A) y *las mejoras tecnológicas en los aparatos de medida conducen a cambios en el conocimiento* (explicación C).

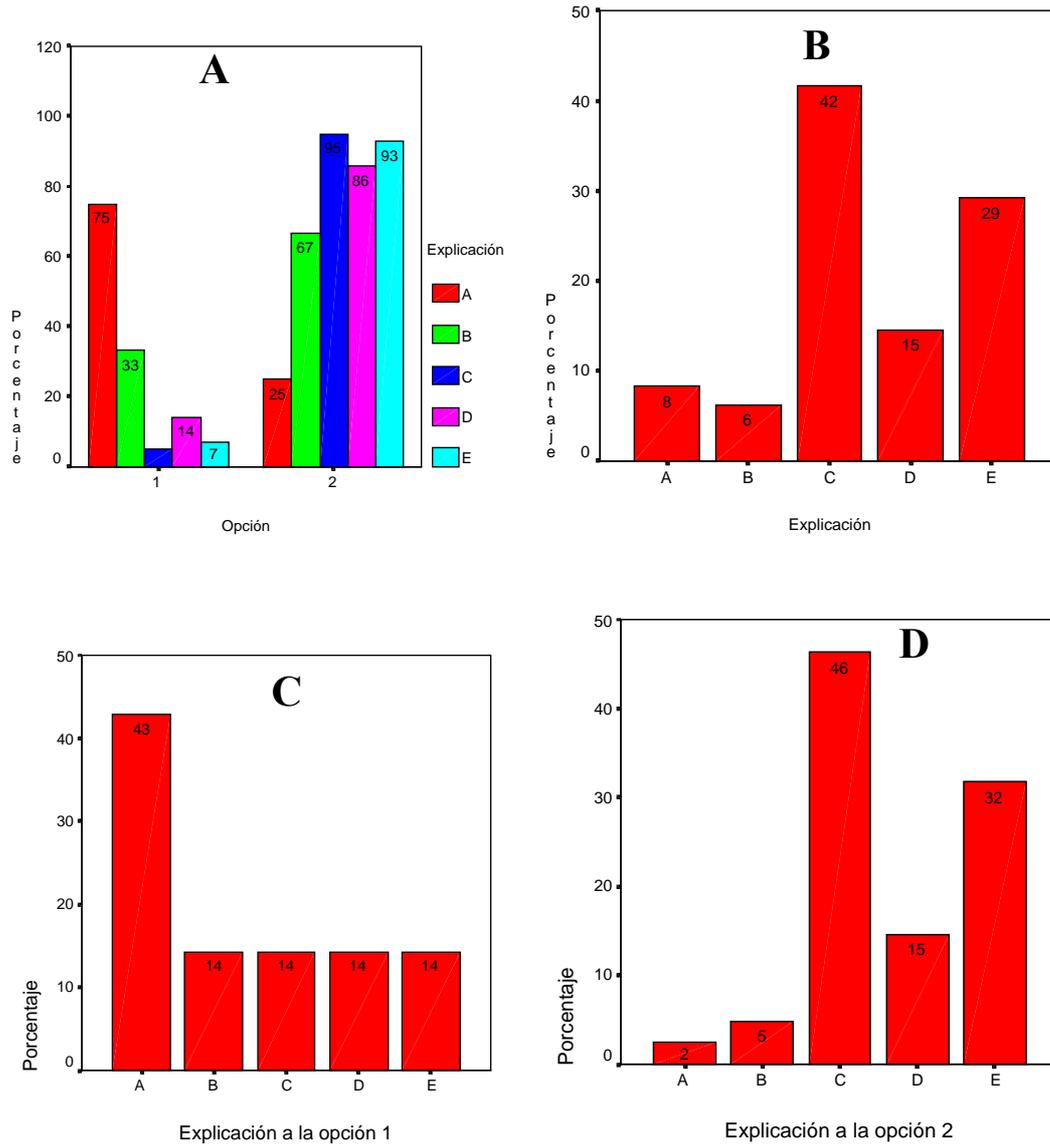
Los pocos alumnos que confieren al conocimiento científico una validez ilimitada en el tiempo, argumentan que *el conocimiento científico cambia cuando nuevos científicos desaprueban las teorías de viejos científicos* (explicación B).



**Figura 8.** Distribución porcentual de las explicaciones al ítem 3.

Un 85 % del alumnado cree que *los mejores científicos no se encierran en sí mismos siguiendo las etapas del método científico, sino que usan cualquier procedimiento que pueda serles útil* (ver Tabla 36). Los estudiantes eligen distintas explicaciones para justificar esta respuesta (ver Figura 9), aunque predominan dos: *la originalidad y la creatividad es tan importante como el método científico* (explicación C) y *el progreso de la ciencia ocurre cuando los científicos son libres para emplear cualquier método* (explicación E).

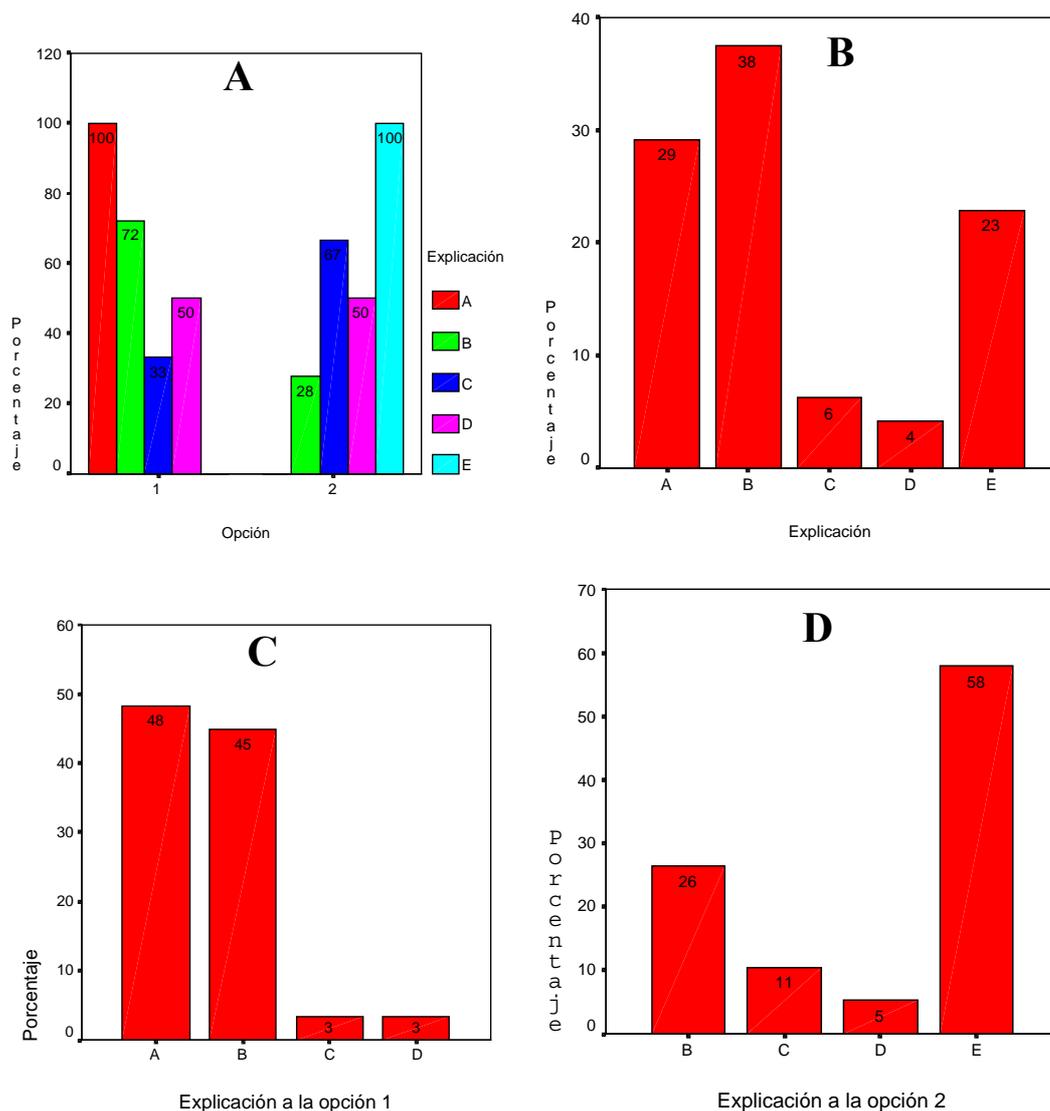
Sólo un 15 % de los estudiantes están de acuerdo con que *los mejores científicos siguen las etapas del método científico*, de los cuales casi la mitad se justifican en que *el método científico asegura resultados válidos y precisos* (explicación A).



**Figura 9.** Distribución porcentual de las explicaciones al ítem 4.

- A) Diagrama de barras de la distribución de las explicaciones asociadas a cada opción.
- B) Diagrama de barras de la distribución de las explicaciones independientemente de la opción escogida.
- C) Diagrama de barras de la distribución de las explicaciones asociadas a la opción 1.
- D) Diagrama de barras de la distribución de las explicaciones asociadas a la opción 2.

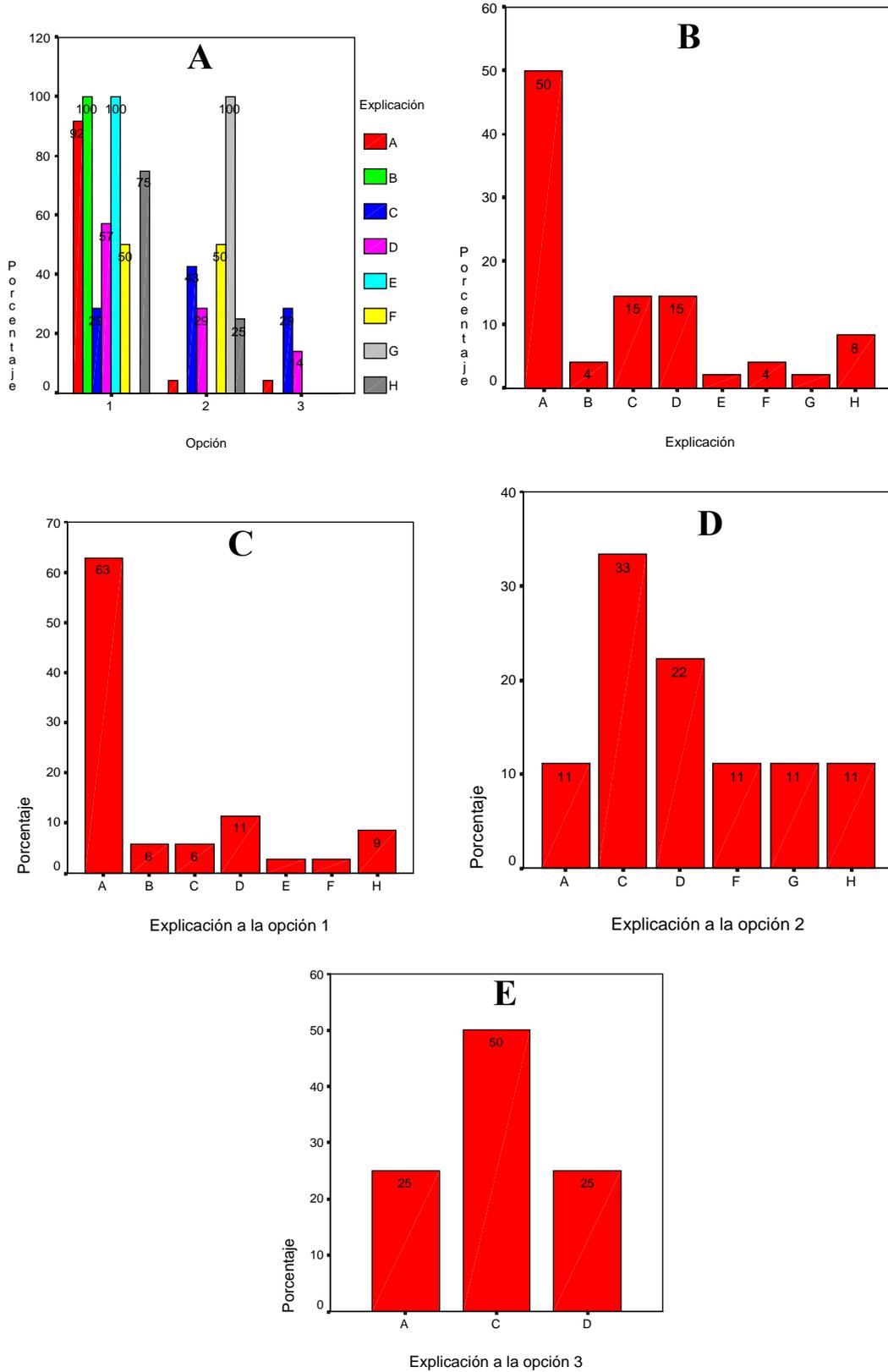
Un 60 % de los estudiantes cree que las relaciones sociales pueden influir sobre el trabajo del científico y, por tanto, sobre el contenido del conocimiento científico que descubre (Tabla 36). Los principales argumentos seleccionados para apoyar esta creencia son dos (Figura 10): *los contactos sociales siempre influyen en el trabajo de una persona* (explicación A) y *un científico puede ser ayudado incorporando las ideas de aquéllos con quienes se relacionan* (explicación B).



**Figura 10.** Distribución porcentual de las explicaciones al ítem 5.

- A) Diagrama de barras de la distribución de las explicaciones asociadas a cada opción.  
 B) Diagrama de barras de la distribución de las explicaciones independientemente de la opción escogida.  
 C) Diagrama de barras de la distribución de las explicaciones asociadas a la opción 1.  
 D) Diagrama de barras de la distribución de las explicaciones asociadas a la opción 2.

Casi todos los alumnos consideran que si *los científicos discrepan sobre algún tema es porque no disponen de la misma información*. Esta creencia es argumentada mayoritariamente (Figura 11) sobre la base de que *los datos científicos conducen a una conclusión correcta y por tanto, los desacuerdos ocurren cuando no se tienen todos los datos* (explicación A).



**Figura 11.** Distribución porcentual de las explicaciones al ítem 6.  
 A) Diagrama de barras de la distribución de las explicaciones asociadas a cada opción.  
 B) Diagrama de barras de la distribución de las explicaciones independientemente de la opción escogida.  
 C) Diagrama de barras de la distribución de las explicaciones asociadas a la opción 1.  
 D) Diagrama de barras de la distribución de las explicaciones asociadas a la opción 2.  
 E) Diagrama de barras de la distribución de las explicaciones asociadas a la opción 3.

### **Cuestión sobre la naturaleza de la investigación científica y el procesamiento de los datos experimentales**

Los estudiantes son interrogados sobre una situación de investigación experimental en la que dos científicos elaboran modelos distintos a partir de una misma serie de medidas. La cuestión trata de averiguar las creencias del alumnado ante dos interpretaciones científicas distintas de un mismo hecho y sobre el papel que podría desempeñar el ordenador en la resolución de este dilema.

Esta cuestión pertenece a un test elaborado en el marco de un proyecto<sup>52</sup> internacional de investigación educativa financiado por la Unión Europea y llevado a cabo entre 1996 y 1998 (Seré *et al.*, 2001).

Una tercera parte del alumnado considera que las diferencias en las conclusiones elaboradas por los científicos son debidas a la subjetividad de éstos. Este resultado coincide con los datos recogidos por Seré *et al.* en institutos españoles.

Un 10 % de los estudiantes cree que la discrepancia en las interpretaciones de los científicos se debe a la insuficiencia o inexactitud de los datos experimentales.

Otro 10 % responde que los científicos parten de distintas hipótesis en su investigación. El resto de los estudiantes no sabe responder o responde empleando argumentos dispares que no pertenecen a las categorías anteriores.

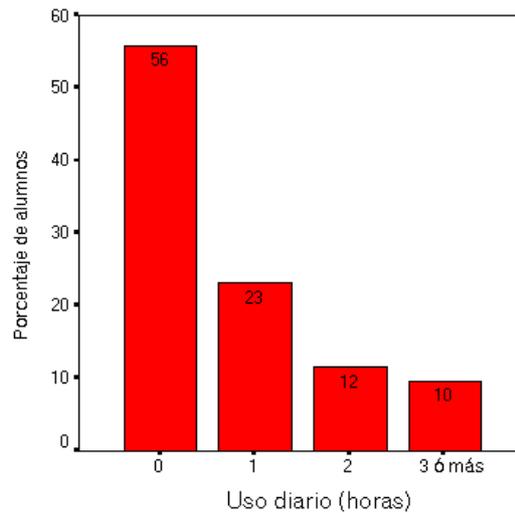
Poco más de la mitad del alumnado cree que el ordenador puede ayudar a resolver las diferencias entre los científicos, justificándose con diferentes argumentos: *siempre que el ordenador esté programado por un tercer científico, el ordenador puede realizar cálculos más rápidos y exactos que una persona y el ordenador permite extraer la "tendencia" de los datos experimentales.*

Un 10 % de los alumnos no considera el ordenador una herramienta para resolver las discrepancias entre los científicos.

Un 70 % de los estudiantes tienen ordenador en casa, de los que más de la mitad no lo utiliza diariamente (Figura 12).

---

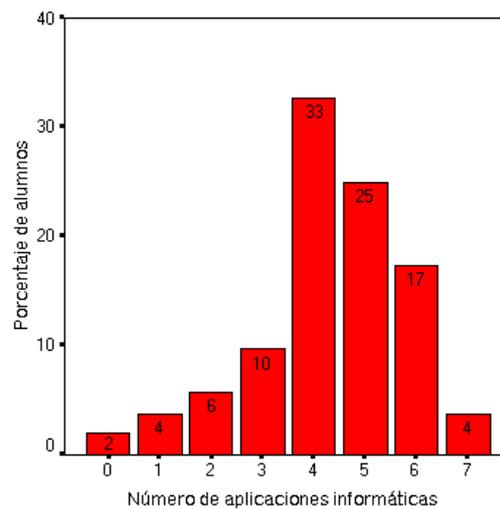
<sup>52</sup> *Improving science education: Issues and research on innovative empirical and computer-based approaches to labwork in Europe.* DGXII. European Commission.



**Figura 12.** Distribución porcentual del tiempo promedio dedicado por los alumnos diariamente al uso del ordenador en casa.

La Figura 13 muestra el número de aplicaciones informáticas utilizadas habitualmente por los estudiantes entre las siguientes: procesador de textos, hoja de cálculo, programas didácticos, correo electrónico, páginas web, lenguajes de programación y programas de uso específico.

Más de las tres cuartas partes del alumnado son usuarios de cuatro o más de estas utilidades informáticas.



**Figura 13.** Distribución porcentual del número de aplicaciones informáticas utilizadas por los alumnos.

Las Tablas comprendidas desde la 6 hasta la 27, inclusive, muestran las diversas categorías en que se pueden clasificar las respuestas dadas por los alumnos a los ítems del test sobre conceptos de mecánica newtoniana, así como sus frecuencias relativas.

Sin embargo, estos datos son insuficientes para conocer la estructura del conocimiento científico y de las concepciones alternativas de los estudiantes. Con objeto de superar estas limitaciones, se recurre a una técnica de análisis factorial sobre variables cualitativas, denominado análisis de correspondencias múltiples<sup>53,54</sup>, que permite extraer las correlaciones entre las categorías de respuestas y los valores particulares de las variables independientes consideradas en la investigación (nivel de conocimiento científico conceptual, procedimental y actitudinal, sexo, nivel de razonamiento lógico y de conocimientos informáticos).

Esta técnica de análisis multivariante es empleada por Jimoyiannis y Komis<sup>55</sup> (2001) en un estudio de casos para extraer correlaciones entre las ideas alternativas de una muestra de estudiantes griegos de educación secundaria y distintas variables (sexo, edad, experiencia informática, instituto de pertenencia y estrategia didáctica seguida): unos alumnos habían trabajado con simulaciones desarrolladas por el profesor en el entorno *Interactive Physics*, mientras que otros estudiantes habían seguido una metodología expositiva tradicional.

Las categorías de las respuestas dadas por el alumnado a los ítems referentes a cada uno de los dominios conceptuales (fuerza y movimiento; movimiento oblicuo; representación gráfica de fuerzas y trayectorias; peso y gravedad; fuerza y aceleración) son sometidas a un análisis de correspondencias múltiples.

Los cinco análisis llevados a cabo coinciden en extraer correlaciones entre las categorías de respuestas y los niveles de conocimiento procedimental y actitudinal, no detectando correlaciones con las restantes variables.

A continuación se exponen para cada dominio conceptual las correspondencias identificadas entre las respuestas dadas y los distintos niveles de conocimiento procedimental y actitudinal del alumnado.

### **Fuerza y movimiento**

La Tabla 37 muestra las correspondencias extraídas para los ítems 1, 2 y 3.

---

<sup>53</sup> Joaristi, L. y Lizasoain, L. (2000). *Análisis de correspondencias*. Cuadernos de Estadística, nº 5. Madrid: Editorial La Muralla.

<sup>54</sup> Díaz de Rada, V. (2002). *Técnicas de análisis multivariante para investigación social y comercial: Ejemplos prácticos utilizando SPSS versión 11*. Madrid: Ra-Ma.

<sup>55</sup> Jimoyiannis, A. y Komis, V. (2001). Computer simulations in physics teaching and learning: a case study on student's understanding of trajectory motion. *Computers and Education*, 36, 183-204.

ITEM	NIVEL DE CONOCIMIENTO PROCEDIMENTAL Y ACTITUDINAL	CATEGORÍA DE RESPUESTA
1	Bajo	Un cuerpo en movimiento necesita de una fuerza
	Medio	Un cuerpo puede moverse sin que actúe sobre él una fuerza ya que: a) la fuerza se relaciona con la aceleración pero no con la velocidad b) depende del sistema de referencia c) un cuerpo cayendo se mueve sin que actúe fuerza alguna sobre él debido a la fuerza de su propio peso
	Alto	Un cuerpo puede moverse sin que actúe sobre él una fuerza si ya tiene una velocidad inicial
2	Bajo	Un cuerpo puede moverse sin que actúe sobre él una fuerza pero no indefinidamente ya que: a) el rozamiento frena el movimiento b) depende de la situación física
	Alto	-Un cuerpo puede moverse sin que actúe sobre él una fuerza pero no indefinidamente porque: a) la velocidad disminuye b) la fuerza aplicada se va perdiendo -Un cuerpo puede moverse constantemente sin que actúe sobre él una fuerza, siempre que no se aplique una fuerza opuesta al movimiento
3	Bajo	Un cuerpo no se puede mover cuando se le aplica una fuerza de igual módulo pero de sentido opuesto a la fuerza de rozamiento ya que la fuerza resultante es cero.
	Alto	Un cuerpo se puede mover cuando se le aplica una fuerza de igual módulo pero de sentido opuesto a la fuerza de rozamiento ya que: a) conserva el estado inicial b) lleva una velocidad inicial distinta de cero

**Tabla 37.** Correspondencias identificadas entre los distintos niveles de conocimiento procedimental y actitudinal del alumnado y las categorías de respuestas para los ítems 13 y 22.

### Movimiento oblicuo y velocidad

La Tabla 38 recoge las correspondencias extraídas para los ítems 4 y 16. La Tabla 39 muestra las correspondencias detectadas para los ítems 18 y 20, de entre las cuales dos están relacionadas, a diferencia de las restantes, con una única clase de conocimiento científico.

ITEM	NIVEL DE CONOCIMIENTO PROCEDIMENTAL Y ACTITUDINAL	CATEGORÍA DE RESPUESTA
4	Bajo	-La bola lanzada desde el avión más lento llega antes porque: a) pierde antes la velocidad que llevaba el avión y cae libremente b) la trayectoria es directa hacia el suelo mientras que la pelota del avión más rápido se desplaza en la dirección horizontal -La bola lanzada desde el avión más rápido llega antes porque lleva la misma velocidad que éste y por tanto, cae antes.
	Alto	Las dos bolas llegan al mismo tiempo porque la aceleración en el eje OY es la misma para ambos cuerpos.
16	Bajo	El tornillo no entra en el agujero porque mientras está cayendo el tren sigue hacia adelante
	Alto	El tornillo cae dentro del agujero porque durante su caída lleva la misma velocidad que el tren

**Tabla 38.** Correspondencias identificadas entre los distintos niveles de conocimiento procedimental y actitudinal del alumnado y las categorías de respuestas para los ítems 4 y 16.

ITEM	NIVEL DE CONOCIMIENTO PROCEDIMENTAL Y ACTITUDINAL	CATEGORÍA DE RESPUESTA
18	Bajo	-La bola cae detrás del palo mayor si hay aire -La bola cae detrás del palo mayor porque mientras está en el aire, el barco sigue moviéndose
	Medio en actitudes	<i>Distintas explicaciones incorrectas</i>
	Alto	-La bola cae al pie del palo mayor si estuviera en el vacío -la bola cae al pie del palo mayor
20	Bajo	-La bola caerá más lejos del palo mayor cuanto mayor sea la velocidad del barco - <i>Distintas explicaciones incorrectas</i>
	Medio en procedimientos	La bola cae detrás del palo mayor, a la misma distancia que cuando el barco navega con menos velocidad
	Alto	La bola cae al pie del palo mayor si estuviera en el vacío, mientras que en el aire cuanto mayor sea la velocidad del barco, más lejos caerá del palo mayor

**Tabla 39.** Correspondencias identificadas entre los distintos niveles de conocimiento procedimental y actitudinal del alumnado y las categorías de respuestas para los ítems 18 y 20.

### Representación gráfica de fuerzas y trayectorias

La Tabla 40 recoge las correspondencias extraídas para los ítems 5 y 6, pudiéndose observar que los alumnos con un nivel de conocimiento procedimental y actitudinal tanto bajo como medio presentan ciertas similitudes en las respuestas dadas al ítem 6.

ITEM	NIVEL DE CONOCIMIENTO PROCEDIMENTAL Y ACTITUDINAL	CATEGORÍA DE RESPUESTA
5	Bajo	
	Medio	
6	Bajo y Medio	
	Medio	

**Tabla 40.** Correspondencias identificadas entre los distintos niveles de conocimiento procedimental y actitudinal del alumnado y las categorías de respuestas para los items 5 y 6.

### Peso, gravedad y caída libre de graves

La Tabla 41 recoge las correspondencias extraídas para los items 8, 9, 11 y 14.

ÍTEM	NIVEL DE CONOCIMIENTO PROCEDIMENTAL Y ACTITUDINAL	CATEGORÍA DE RESPUESTA
8 y 9	Bajo	Una fuerza mayor actúa sobre la botella llena
	Alto	La misma fuerza sobre ambas botellas en el vacío
11	Bajo	La botella con agua llega antes
	Medio	<i>Distintas explicaciones incorrectas</i>
14	Bajo	<i>Distintas explicaciones incorrectas</i>
	Medio	El paracaidista aumenta la velocidad durante su caída ya que: a) el peso es mayor que la fuerza de rozamiento b) la fuerza gravitatoria actúa

**Tabla 41.** Correspondencias identificadas entre los distintos niveles de conocimiento procedimental y actitudinal del alumnado y las categorías de respuestas para los items 8, 9, 11 y 14.

### Fuerza y aceleración

Por último, la Tabla 42 muestra las correspondencias extraídas para los ítems 10 y 12.

ÍTEM	NIVEL DE CONOCIMIENTO PROCEDIMENTAL Y ACTITUDINAL	CATEGORÍA DE RESPUESTA
10	Bajo	-La botella con agua cae con más aceleración en el aire -La botella con agua cae con más aceleración
12	Bajo	La botella con agua llega con más velocidad
	Alto	Ambas botellas llegan con la misma velocidad

**Tabla 42.** Correspondencias identificadas entre los distintos niveles de conocimiento procedimental y actitudinal del alumnado y las categorías de respuestas para los ítems 10 y 12.

## 5.2. Fase instruccional y resultados post-instruccionales

A continuación se analiza el conocimiento científico construido por el alumnado tras haber realizado una serie de actividades de investigación mediante la simulación de fenómenos físicos por ordenador.

El conocimiento científico elaborado por los estudiantes se infiere de los resultados recogidos por distintos instrumentos de medida: cuestionarios sobre conceptos básicos de mecánica newtoniana, sobre algunos procedimientos científicos y acerca de las actitudes y creencias en relación con la ciencia; informes de cada trabajo de investigación; registros informáticos de la actividad desarrollada con el simulador; observaciones de aula y grabaciones audio de las sesiones de trabajo.

Asimismo, el conocimiento conceptual, procedimental y actitudinal adquirido por los estudiantes mediante la resolución de pequeños trabajos de investigación con simuladores, es comparado con su conocimiento científico inicial.

Este análisis comparativo se enmarca tanto en el paradigma cuantitativo mediante los correspondientes métodos de contraste de hipótesis, como en el paradigma cualitativo a través del análisis de correspondencias múltiples.

Por otra parte, la evolución del diseño experimental implementado en la investigación conduce a la aplicación de distintos procedimientos de análisis de datos para cada etapa de la investigación: en la primera fase se aplica un diseño Solomon de cuatro grupos con tratamientos distintos; las dos siguientes fases consideran grupos experimentales

trabajando con distintos simuladores; en el último período de investigación participan dos profesores de otro instituto con un grupo experimental y otro de control.

La Figura 14 muestra la distribución porcentual de las puntuaciones obtenidas por el alumnado en el post-test sobre conceptos de mecánica newtoniana. La puntuación media es 13,42 con una desviación típica de 3,59, lo que supone un incremento notable con respecto a la puntuación media de 8,32 obtenida en el pre-test.

La prueba de Kolmogorov-Smirnov sobre la bondad de ajuste de un conjunto de datos a una distribución normal es aplicada a las puntuaciones obtenidas en el pretest y postest sobre conceptos.

La hipótesis nula estadística a contrastar es  $H_0$ : "las puntuaciones del pretest y del postest sobre conceptos proceden de distribuciones normales".

Los valores del estadístico  $Z$  de Kolmogorov-Smirnov para las puntuaciones del pretest y del postest sobre conceptos son 0,512 y 0,679 respectivamente, con un nivel de significación del 95,6 % y del 74,6 %, respectivamente.

Por tanto, se acepta la hipótesis nula, cumpliéndose así el requisito de normalidad exigido a dos conjuntos de datos para ser sometidos a la prueba  $t$  de Student para muestras relacionadas.

La **primera hipótesis** de investigación ("la investigación con simuladores permite evolucionar las ideas previas de los estudiantes hacia las ideas científicas") se formula en términos estadísticos de la siguiente manera:

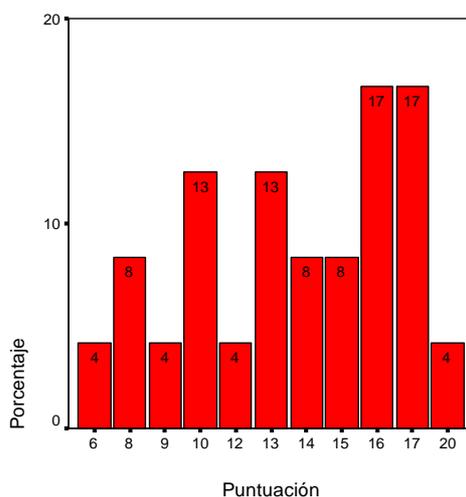
Hipótesis nula ( $H_0$ )  $\equiv$  No hay diferencia significativa entre las puntuaciones obtenidas en el pretest y el postest sobre conceptos de mecánica.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ )  $\equiv$  Las puntuaciones obtenidas en el pretest sobre conceptos de mecánica son significativamente distintas a las obtenidas en el postest.

Con un valor obtenido  $t = 5,857$  para 23 grados de libertad se rechaza la hipótesis nula con un nivel de significación menor que 0,1 %, concluyéndose que hay diferencia

significativa entre las puntuaciones de los pretest y postest sobre conceptos de mecánica.

Por otra parte, se detecta una alta correlación entre las puntuaciones de ambos tests conceptuales (coeficiente de correlación = 0,685), con un nivel de significación menor que 0,1 %.



**Figura 14.** Distribución porcentual de las puntuaciones obtenidas en el post-test sobre conceptos, en la que se indica dentro de las barras el porcentaje correspondiente a cada puntuación.

Para cada uno de los ítems del pretest y postest conceptuales se aplica la prueba de los rangos con signo de Wilcoxon para contrastar la hipótesis nula estadística ( $H_0 \equiv$  no hay diferencia significativa en la respuesta al ítem entre el pretest y el postest).

Las Tablas 43 y 44 muestran el porcentaje de respuestas que mejoran y que se mantienen incorrectas para cada ítem entre el pretest y el postest. Casi la mitad de los ítems presentan diferencias significativas entre la respuesta en el postest y en el pretest.

ÍTEM	PORCENTAJE (%) DE RESPUESTAS QUE...
------	-------------------------------------

	MEJORAN	SE MANTIENEN INCORRECTAS
1	34 <sup>a</sup>	20
2	30 <sup>b</sup>	20
3	54 <sup>c</sup>	46
4	24 <sup>d</sup>	5
5	0	95
6	5	62
7	13	37
8	33 <sup>e</sup>	62
9	13	0
10	80 <sup>f</sup>	8
11	0	0

**Tabla 43.** Porcentaje de respuestas que mejoran y que se mantienen incorrectas en el postest con respecto al pretest.

El superíndice indica la existencia de una diferencia significativa entre la respuesta en el postest y en el pretest.

- $Z = -2,828$  con un nivel de significación del 0,5 %.
- $Z = -2,646$  con un nivel de significación del 0,8 %.
- $Z = -3,606$  con un nivel de significación menor que 0,1 %.
- $Z = -3,742$  con un nivel de significación menor que 0,1 %.
- $Z = -2,828$  con un nivel de significación del 0,5 %.
- $Z = -4,359$  con un nivel de significación menor que 0,1 %.

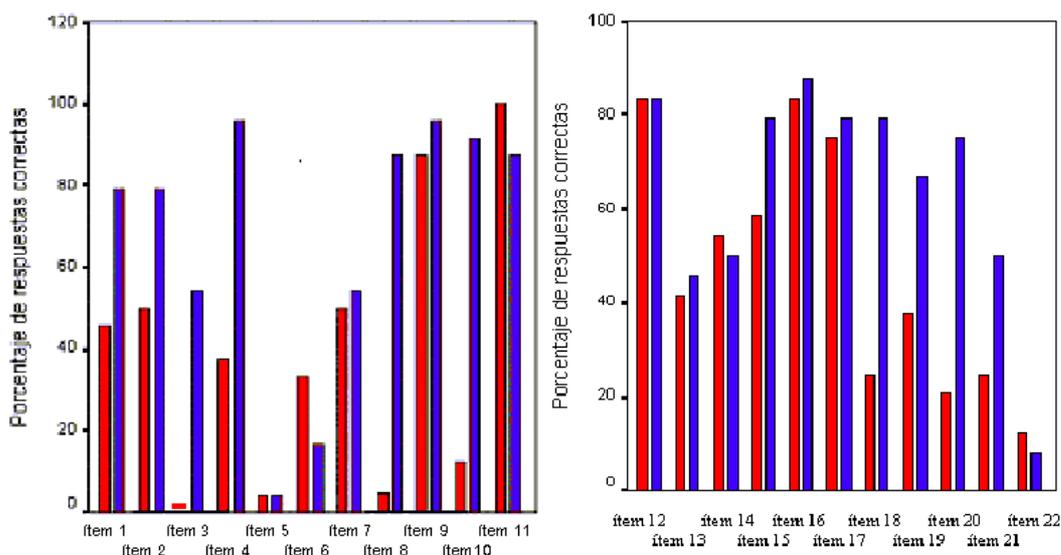
La Figura 15 compara los resultados obtenidos para cada ítem en el pretest y en el postest sobre conceptos, pudiéndose observar que el porcentaje de respuestas correctas aumenta en todos los ítems salvo en el 5, 6, 11, 12, 14 y 22.

ÍTEM	PORCENTAJE (%) DE RESPUESTAS QUE...	
	MEJORAN	SE MANTIENEN INCORRECTAS
12	17	0
13	21	37
14	13	33
15	25	16
16	8	8
17	17	8
18	54 <sup>a</sup>	20
19	33 <sup>b</sup>	29
20	54 <sup>c</sup>	25
21	33	41
22	4	83

**Tabla 44.** Porcentaje de respuestas que mejoran y que se mantienen incorrectas en el postest con respecto al pretest.

El superíndice indica la existencia de una diferencia significativa entre la respuesta en el postest y en el pretest.

- $Z = -3,606$  con un nivel de significación menor que 0,1 %.
- $Z = -2,333$  con un nivel de significación del 2 %.
- $Z = -3,606$  con un nivel de significación menor que 0,1 %.



**Figura 15.** Comparación entre el porcentaje de respuestas correctas al pre-test y al post-test sobre conceptos.

La **segunda hipótesis** de la investigación ("el nivel de razonamiento lógico influye en el aprendizaje por investigación mediante simuladores") se formula en términos estadísticos de la siguiente manera:

Hipótesis nula ( $H_0$ )  $\equiv$  No hay diferencia significativa en la puntuación del postest conceptual ni en la variación de puntuación entre el pretest y el postest para estudiantes con distinto nivel de razonamiento lógico.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ )  $\equiv$  Hay diferencia significativa en la puntuación del postest conceptual o en la variación de puntuación entre el pretest y el postest para estudiantes con distinto nivel de razonamiento lógico.

La prueba de Kruskal-Wallis es aplicada a la puntuación del postest para los tres grupos de alumnos con distinto nivel de razonamiento lógico. Con un valor de  $\chi^2 = 3,911$  para 2 grados de libertad se acepta la hipótesis nula con un nivel de significación del 14,1 %, concluyéndose que no hay diferencias significativas por nivel lógico en la puntuación del postest conceptual.

Asimismo, la prueba de Kruskal-Wallis es aplicada a la variación en la puntuación entre el pretest y el postest para los tres grupos de alumnos con distinto nivel de razonamiento lógico. Con un valor de  $\chi^2 = 2,687$  para 2 grados de libertad se acepta la hipótesis nula con un nivel de significación del 26,1 %, concluyéndose que no hay diferencias

significativas por nivel de razonamiento lógico en la variación de la puntuación entre el pre y el postest sobre conceptos.

La puntuación media y la desviación típica obtenidas en el pretest y el postest por los tres grupos de estudiantes con distinto nivel de razonamiento lógico son mostradas en la Tabla 45, donde se puede apreciar que los alumnos con nivel de razonamiento lógico bajo y alto son los que más incrementan la puntuación media en el test sobre conceptos de mecánica newtoniana.

Nivel de razonamiento lógico	Puntuación en el pretest	Puntuación en el postest
Bajo	10,14 ± 1,676	13,29 ± 1,358
Medio	9,50 ± 2,168	11,17 ± 2,858
Alto	10,73 ± 3,717	14,73 ± 3,608

**Tabla 45.** Media y desviación típica de la puntuación obtenida en el pretest y el postest sobre conceptos por estudiantes con diferente habilidad para el razonamiento lógico.

La **tercera hipótesis** de la investigación ("el rendimiento académico influye en el aprendizaje por investigación mediante simuladores") se formula en términos estadísticos de la siguiente manera:

Hipótesis nula ( $H_0$ )  $\equiv$  No hay diferencia significativa en la puntuación del postest conceptual ni en la variación de puntuación entre el pretest y el postest para estudiantes con distinto rendimiento académico.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ )  $\equiv$  Hay diferencia significativa en la puntuación del postest conceptual o en la variación de puntuación entre el pretest y el postest para estudiantes con distinto rendimiento académico.

La prueba de Kruskal-Wallis es aplicada a la puntuación del postest para los tres grupos de alumnos con distinto rendimiento académico. Con un valor de  $\chi^2 = 4,042$  para 2 grados de libertad, se acepta la hipótesis nula con un nivel de significación del 13,3 %, concluyéndose que no hay diferencia significativa en la puntuación del postest conceptual entre alumnos con distinto rendimiento académico.

Asimismo, la prueba de Kruskal-Wallis es aplicada a la variación en la puntuación entre el pretest y el postest para los tres grupos de alumnos con distinto rendimiento académico. Con un valor de  $\chi^2 = 1,887$  para 2 grados de libertad se acepta la hipótesis nula con un nivel de significación del 38,9 %, concluyéndose que no hay diferencia significativa en la variación de la puntuación obtenida en el pretest y en el postest conceptual por estudiantes con distinto rendimiento académico.

La puntuación media y la desviación típica obtenidas en el pretest y el postest por los tres grupos de estudiantes con distinto rendimiento académico son mostradas en la Tabla 46, donde se puede apreciar que los alumnos con rendimiento académico medio son los que más incrementan la puntuación media en el test sobre conceptos de mecánica newtoniana.

Rendimiento académico	Puntuación en el pretest	Puntuación en el postest
Bajo	9,71 ± 2,812	12,00 ± 4,320
Medio	8,56 ± 2,242	12,67 ± 2,958
Alto	12,63 ± 1,847	15,50 ± 2,976

**Tabla 46.** Media y desviación típica de la puntuación obtenida en el pretest y el postest sobre conceptos por estudiantes con diferente rendimiento académico.

La **cuarta hipótesis** de la investigación ("el nivel de conocimiento informático influye en el aprendizaje por investigación mediante simuladores") se formula en términos estadísticos de la siguiente manera:

Hipótesis nula ( $H_0$ )  $\equiv$  No hay diferencia significativa en la puntuación del postest conceptual ni en la variación de puntuación entre el pretest y el postest para estudiantes con distinto nivel de conocimiento informático.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ )  $\equiv$  Hay diferencia significativa en la puntuación del postest conceptual o en la variación de puntuación entre el pretest y el postest para estudiantes con distinto nivel de conocimiento informático.

La prueba de Kruskal-Wallis es aplicada a la puntuación del postest para los tres grupos de alumnos con distinto nivel de conocimiento informático. Con un valor de  $\chi^2 = 1,923$  para 2 grados de libertad se acepta la hipótesis nula con un nivel de significación del

38,2%, concluyéndose que no hay diferencia significativa en la puntuación del postest conceptual entre alumnos con distinto nivel de conocimiento informático.

Asimismo, la prueba de Kruskal-Wallis es aplicada a la variación en la puntuación entre el pretest y el postest para los tres grupos de alumnos con distinto nivel de conocimiento informático. Con un valor de  $\chi^2 = 1,861$  para 2 grados de libertad se acepta la hipótesis nula con un nivel de significación del 39,4 %, concluyéndose que no hay diferencia significativa en la variación de la puntuación obtenida en el pretest y en el postest conceptual por estudiantes con distinto nivel de conocimiento informático.

La puntuación media y la desviación típica obtenidas en el pretest y el postest por los tres grupos de estudiantes con distinto nivel de conocimiento informático son mostradas en la Tabla 47.

Nivel de conocimiento informático	Puntuación en el pretest	Puntuación en el postest
Bajo	9,00 ± 2,789	12,50 ± 3,598
Medio	11,29 ± 2,215	15,14 ± 3,132
Alto	11,00 ± 3,109	13,00 ± 3,916

**Tabla 47.** Media y desviación típica de la puntuación obtenida en el pretest y el postest sobre conceptos por estudiantes con diferente nivel de conocimiento informático.

La prueba de Kolmogorov-Smirnov sobre la bondad de ajuste de un conjunto de datos a una distribución normal es aplicada a las puntuaciones obtenidas en el pretest y postest sobre conceptos por los grupos experimental y de control correspondientes a la cuarta fase de la investigación.

La hipótesis nula estadística a contrastar es  $H_0$ : "las puntuaciones del pretest y del postest sobre conceptos proceden de distribuciones normales".

Los valores del estadístico Z de Kolmogorov-Smirnov para las puntuaciones del pretest y del postest sobre conceptos son los siguientes:

- a) *Grupo experimental*: 0,441 con un nivel de significación del 99,0 % y 0,758 con un nivel de significación del 61,3 %, respectivamente.
- b) *Grupo de control*: 0,786 con un nivel de significación del 56,7 % y 0,915 con un nivel de significación del 37,2 %, respectivamente.

Por tanto, se acepta la hipótesis nula, cumpliéndose así el requisito de normalidad exigido a dos conjuntos de datos para ser sometidos a la prueba t de Student para muestras independientes.

La **séptima hipótesis** de la investigación ("la enseñanza mediante trabajos de investigación con los simuladores procura un aprendizaje más significativo de contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales que la enseñanza tradicional") con relación a los contenidos conceptuales se formula en términos estadísticos de la siguiente manera:

Hipótesis nula ( $H_0$ )  $\equiv$  No hay diferencia significativa en la puntuación del postest ni en la variación de puntuación entre el pretest y el postest sobre conceptos para estudiantes que realizan trabajos de investigación con simuladores y estudiantes que siguen una metodología transmisiva.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ )  $\equiv$  Hay diferencia significativa en la puntuación del postest o en la variación de puntuación entre el pretest y el postest sobre conceptos para estudiantes que realizan trabajos de investigación con simuladores y estudiantes que siguen una metodología transmisiva.

La prueba t de Student es aplicada a la puntuación del postest sobre conceptos obtenida por estudiantes que han seguido distinta metodología. Con un valor de  $t = 4,526$  para 30 grados de libertad se rechaza la hipótesis nula con un nivel de significación menor que 0,1 %, concluyéndose que hay diferencia significativa entre la puntuación obtenida en el postest sobre conceptos por los estudiantes que realizan los trabajos de investigación con simuladores y los estudiantes que siguen una metodología transmisiva.

Asimismo, cuando se aplica la prueba t de Student a la variación de puntuación entre el pretest y el postest sobre conceptos para los estudiantes del grupo experimental y del grupo de control, se obtiene un valor de  $t = 4,526$  para 30 grados de libertad por lo que se rechaza la hipótesis nula con un nivel de significación menor que 0,1 % y se concluye que hay diferencia significativa en la variación de puntuación entre el pretest y el postest sobre conceptos para los estudiantes que realizan los trabajos de investigación con simuladores y los estudiantes que siguen una metodología transmisiva.

La Tabla 48 muestra el valor medio y la desviación típica de las puntuaciones obtenidas en el pretest y el postest sobre conceptos por los grupos experimental y de control.

Grupo de alumnos	Puntuación en el pretest	Puntuación en el postest
Experimental	5,72 ± 2,740	13,39 ± 2,993
Control	6,50 ± 2,955	7,86 ± 3,325

**Tabla 48.** Media y desviación típica de la puntuación obtenida en el pretest y el postest sobre conceptos por estudiantes siguiendo una metodología diferente.

La prueba de Kolmogorov-Smirnov sobre la bondad de ajuste de un conjunto de datos a una distribución normal es aplicada a las puntuaciones obtenidas en el pretest y postest sobre conceptos por los estudiantes que utilizan *Interactive Physics* y por los estudiantes que experimentan con *Mobile*.

La hipótesis nula estadística a contrastar es  $H_0$ : "las puntuaciones del pretest y del postest sobre conceptos proceden de distribuciones normales".

Los valores del estadístico Z de Kolmogorov-Smirnov para las puntuaciones del pretest y del postest sobre conceptos son los siguientes:

- a) *Grupo experimentando con Interactive Physics*: 0,480 con un nivel de significación del 97,5 % y 0,822 con un nivel de significación del 50,8 %, respectivamente.
- b) *Grupo experimentando con Mobile*: 0,417 con un nivel de significación del 99,5% y 0,872 con un nivel de significación del 43,3 %, respectivamente.

Por tanto, se acepta la hipótesis nula, cumpliéndose así el requisito de normalidad exigido a dos conjuntos de datos para ser sometidos a la prueba t de Student para muestras independientes.

La **octava hipótesis** de la investigación ("el aprendizaje de la mecánica newtoniana con el programa desarrollado en el proyecto es más significativo que con un programa comercial") se formula en términos estadísticos de la siguiente manera:

Hipótesis nula ( $H_0$ )  $\equiv$  No hay diferencia significativa en la puntuación del postest ni en la variación de puntuación entre el pretest y el postest sobre conceptos para estudiantes que realizan los trabajos de investigación con *Mobile* y con *Interactive Physics*.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ )  $\equiv$  Hay diferencia significativa en la puntuación del postest o en la variación de puntuación entre el pretest y el postest sobre conceptos para estudiantes que realizan los trabajos de investigación con *Mobile* y con *Interactive Physics*.

La prueba t de Student aplicada a la puntuación del postest sobre conceptos obtenida por alumnos que experimentan con *Mobile* y con *Interactive Physics* arroja un valor del estadístico  $t = -1,169$  para 42 grados de libertad por lo que se acepta la hipótesis nula con un nivel de significación del 24,9 %, concluyéndose que no hay diferencia significativa entre las puntuaciones.

En cuanto a la variación en la puntuación entre el pretest y el postest sobre conceptos obtenida por alumnos que experimentan con *Mobile* y con *Interactive Physics*, la prueba t de Student arroja un valor de  $t = -1,975$  para 42 grados de libertad por lo que se rechaza la hipótesis nula con un nivel de significación del 5 %, concluyéndose que hay diferencia significativa en la variación de la puntuación entre el pretest y el postest sobre conceptos.

La Tabla 49 muestra que los alumnos trabajando con *Mobile* consiguen mejores resultados que cuando experimentan con *Interactive Physics*.

Grupo de alumnos	Puntuación en el pretest	Puntuación en el postest
Usuarios de <i>Mobile</i>	9,10 $\pm$ 4,064	15,25 $\pm$ 3,416
Usuarios de <i>Interactive Physics</i>	9,42 $\pm$ 2,796	14,00 $\pm$ 3,624

**Tabla 49.** Media y desviación típica de la puntuación obtenida en el pretest y el postest sobre conceptos por estudiantes experimentando con distintos simuladores.

Por otra parte, las **categorías de las respuestas** dadas a los ítems del post-test y las distintas variables diagnosticadas en el alumnado son sometidas a un análisis de correspondencias múltiples, para así profundizar en el conocimiento de las estructuras de pensamiento de los distintos perfiles de estudiante.

A continuación se exponen para cada dominio conceptual las correspondencias extraídas del postest, siendo comparadas con las ya obtenidas en el pretest, con objeto de analizar la influencia ejercida por la metodología propuesta en la investigación sobre

la evolución del conocimiento conceptual sobre mecánica newtoniana en los estudiantes.

a) Fuerza y movimiento

Los alumnos con un nivel de conocimiento conceptual alto presentan mayor diversidad de respuestas a los ítems 1 y 2 en el postest que el resto de los estudiantes. Los alumnos con un nivel de conocimiento conceptual medio siguen considerando que *un cuerpo siempre se mueve en la dirección y sentido de la fuerza aplicada o de la fuerza resultante del sistema de fuerzas aplicadas sobre él.*

b) Movimiento oblicuo

Los alumnos con un nivel de conocimiento conceptual alto evolucionan desde una categoría de respuesta incorrecta al ítem 20 en el pretest, hacia una categoría de respuesta correcta en el postest. Sin embargo, estos mismos alumnos consideran tanto en el pretest como en el postest que *dos bolas idénticas abandonadas desde dos aviones que vuelan a la misma altura pero con distinta velocidad, llegan al mismo tiempo porque tienen la misma masa.*

Los alumnos con un nivel de conocimiento conceptual bajo consideran en el pretest que *un tornillo abandonado desde el techo de un vagón de tren, que se desplaza con velocidad constante en línea recta, no cae en dirección vertical puesto que se retrasa con respecto al vagón.* Estos alumnos ofrecen distintas categorías de respuesta a este ítem en el postest.

c) Representación gráfica

Los alumnos con un nivel de conocimiento conceptual alto presentan mayor diversidad de categorías de respuesta al ítem 5 que el resto de los compañeros. No obstante, estos alumnos consideran, tanto antes como después de realizar las actividades con los simuladores, que *sobre una pelota lanzada hacia arriba sigue actuando la fuerza impulsora mientras asciende.* Estos mismos estudiantes responden correctamente tanto en el pretest como en el postest a los ítems 6 y 15.

d) Peso y gravedad

Los alumnos con un nivel de conocimiento conceptual alto presentan cambios en las respuestas a los ítems 8, 9 y 11: inicialmente creen que sobre una botella llena actúa mayor fuerza que sobre otra vacía, si ambas botellas están rodeadas de aire, mientras que en el posttest los estudiantes consideran irrelevante el medio que rodea a las botellas.

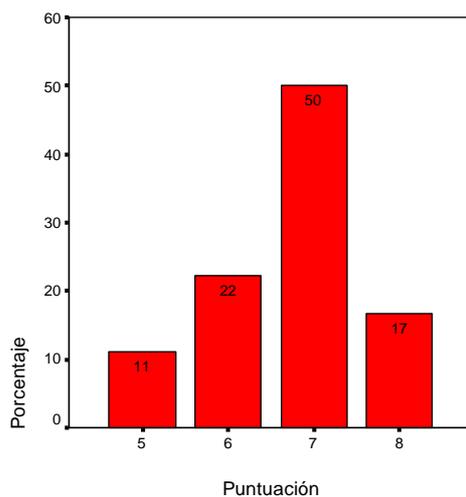
En respuesta al ítem 11, los alumnos con un nivel de conocimiento conceptual alto afirman en el pretest que la botella llena llega antes al suelo, independientemente del medio (vacío o aire) que rodee a las botellas. Sin embargo, tras la realización de las actividades con los simuladores, estos estudiantes consideran que la botella llena llega antes al suelo en el aire, pero llega junto a la botella vacía si la caída tiene lugar en el vacío.

Los alumnos con un nivel de conocimiento conceptual medio cambian la respuesta al ítem 14, de una categoría incorrecta en el pretest a una respuesta correcta en el posttest.

#### e) Fuerza y aceleración

Los alumnos con un nivel de conocimiento conceptual alto presentan cambios en las respuestas a los ítems 10 y 12: inicialmente consideran que la botella llena cae con más aceleración y llega al suelo con más velocidad que la botella vacía, independientemente del medio (vacío o aire) que rodee a las botellas. En cambio, los estudiantes afirman en el posttest que ambas botellas caen con la misma aceleración y llegan con la misma velocidad al suelo, si caen en el vacío.

La puntuación media obtenida por los alumnos en el post-test procedimental es 6,76 con una desviación típica de 0,903, lo que constituye una considerable mejora con relación a la puntuación media del pretest (5,66).



**Figura 16.** Distribución porcentual de las puntuaciones obtenidas en el post-test sobre procedimientos científicos, en la que se indica dentro de las barras el porcentaje correspondiente a cada puntuación.

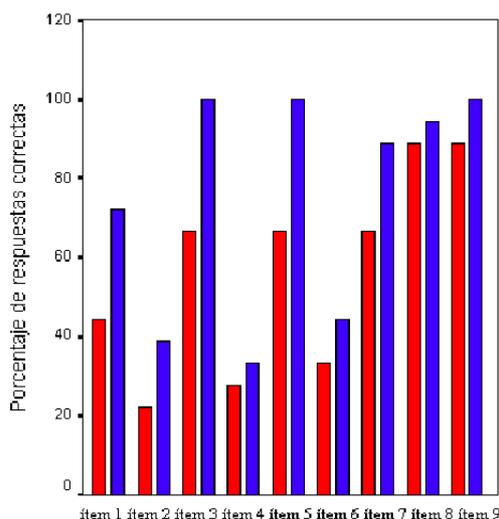
La Figura 16 muestra la distribución porcentual de las puntuaciones obtenidas por el alumnado en el post-test sobre procedimientos científicos, pudiéndose observar una reducción en el rango de las puntuaciones con respecto a las obtenidas en el pre-test.

La **quinta hipótesis** de la investigación ("el conocimiento de algunos contenidos procedimentales mejora significativamente tras la realización de trabajos de investigación con los simuladores") se formula en términos estadísticos de la siguiente manera:

Hipótesis nula ( $H_0$ )  $\equiv$  No hay diferencia significativa entre la puntuación del postest y del pretest sobre procedimientos para los grupos experimentales de alumnos.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ )  $\equiv$  Hay diferencia significativa entre las puntuaciones del postest y del pretest sobre procedimientos para los grupos experimentales de alumnos.

La hipótesis nula se contrasta con la prueba de los rangos con signo de Wilcoxon, obteniéndose un valor de  $Z = -2,956$ , por lo que se rechaza la hipótesis nula con un nivel de significación del 0,3 %, concluyéndose que hay diferencia significativa entre las puntuaciones del pretest y del postest sobre procedimientos científicos obtenidas por los estudiantes que han trabajado con los simuladores.



**Figura 17.** Comparación entre el porcentaje de respuestas correctas al pre-test y al post-test sobre procedimientos científicos.

La Figura 17 compara los resultados obtenidos para cada ítem en el pretest y en el postest sobre procedimientos, pudiéndose observar que el porcentaje de respuestas correctas aumenta en todos los ítems.

Con objeto de probar si este aumento es significativo para cada uno de los ítems, la prueba de los rangos con signo de Wilcoxon es aplicada a cada ítem del pretest y del postest.

La Tabla 50 recoge para cada ítem el porcentaje de respuestas que mejoran y que se mantienen incorrectas del pretest al postest, constatándose que en tres de los nueve ítems hay diferencias significativas entre el pretest y el postest.

ÍTEM	PORCENTAJE (%) DE RESPUESTAS QUE...	
	MEJORAN	SE MANTIENEN INCORRECTAS
1	30	23
2	23	52
3	23 <sup>a</sup>	0
4	12	58
5	23 <sup>b</sup>	0
6	12	52
7	24 <sup>c</sup>	5
8	6	0
9	6	0

**Tabla 50.** Porcentaje de respuestas que mejoran y que se mantienen incorrectas en el postest con respecto al pretest. El superíndice indica la existencia de una diferencia significativa entre la respuesta en el postest y en el pretest.

- $Z = -2,236$  con un nivel de significación del 2,5 %.
- $Z = -2,236$  con un nivel de significación del 2,5 %.
- $Z = -2,000$  con un nivel de significación del 4,6 %.

La **tercera hipótesis** de la investigación ("el rendimiento académico influye en el aprendizaje por investigación mediante simuladores") se formula en términos estadísticos de la siguiente manera:

Hipótesis nula ( $H_0$ )  $\equiv$  No hay diferencia significativa en la puntuación del postest procedimental ni en la variación de puntuación entre el pretest y el postest para estudiantes con distinto rendimiento académico.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ )  $\equiv$  Hay diferencia significativa en la puntuación del postest procedimental o en la variación de puntuación entre el pretest y el postest para estudiantes con distinto rendimiento académico.

La prueba de Kruskal-Wallis es aplicada a la puntuación del postest para los tres grupos de alumnos con distinto rendimiento académico. Con un valor de  $\chi^2 = 7,881$  para 2 grados de libertad se rechaza la hipótesis nula con un nivel de significación del 1,9 %, concluyéndose que hay diferencia significativa en la puntuación obtenida en el postest procedimental por estudiantes con distinto rendimiento académico.

La puntuación media y la desviación típica obtenidas en el pretest y el postest por los tres grupos de estudiantes con distinto rendimiento académico son mostradas en la Tabla 51.

A la vista de estos resultados, se puede inferir que los estudiantes con menor rendimiento académico progresan en el conocimiento científico procedimental más que el resto.

Con objeto de probar si la variación entre la puntuación del pretest y del postest son significativamente distintos para estudiantes con un rendimiento académico diferente, se utiliza la prueba de Kruskal-Wallis.

Rendimiento académico	Puntuación en el pretest	Puntuación en el postest
Bajo	4,75 $\pm$ 2,217	7,00 $\pm$ 0,816
Medio	5,40 $\pm$ 0,894	5,80 $\pm$ 0,837
Alto	5,63 $\pm$ 1,685	7,25 $\pm$ 0,463

**Tabla 51.** Media y desviación típica de la puntuación obtenida en el pretest y el postest sobre procedimientos científicos por estudiantes con diferente rendimiento académico.

Con un valor de  $\chi^2 = 3,836$  para 2 grados de libertad se acepta la hipótesis nula con un nivel de significación del 14,7 %, concluyéndose que no hay diferencia significativa en la variación de la puntuación entre el pretest y el postest sobre procedimientos según el rendimiento académico.

La **segunda hipótesis** de la investigación ("el nivel de razonamiento lógico influye en el aprendizaje por investigación mediante simuladores") se formula en términos estadísticos de la siguiente manera:

Hipótesis nula ( $H_0$ )  $\equiv$  No hay diferencia significativa en la puntuación del postest procedimental ni en la variación de puntuación entre el pretest y el postest para estudiantes con distinto nivel de razonamiento lógico.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ )  $\equiv$  Hay diferencia significativa en la puntuación del postest procedimental o en la variación de puntuación entre el pretest y el postest para estudiantes con distinto nivel de razonamiento lógico.

La prueba de Kruskal-Wallis es aplicada a la puntuación del postest para los tres grupos de alumnos con distinto nivel de razonamiento lógico. Con un valor de  $\chi^2 = 2,450$  para 2 grados de libertad se acepta la hipótesis nula con un nivel de significación del 29,4 %, concluyéndose que no hay diferencia significativa en la puntuación del postest procedimental según el nivel de razonamiento lógico.

En cuanto a la influencia del nivel de razonamiento lógico en la variación de la puntuación entre el pretest y el postest sobre procedimientos, la prueba de Kruskal-Wallis arroja un valor de  $\chi^2 = 4,222$  para 2 grados de libertad, por lo que se acepta la hipótesis nula con un nivel de significación del 12,1 %. Por consiguiente, se concluye que no hay diferencia significativa en la variación de las puntuaciones entre el pretest y el postest sobre procedimientos según el nivel de razonamiento lógico.

No obstante, a partir de los resultados mostrados en la Tabla 52 se puede inferir que los estudiantes con un bajo nivel de razonamiento lógico progresan en el conocimiento científico procedimental más que el resto.

Nivel de razonamiento lógico	Puntuación en el pretest	Puntuación en el postest
Bajo	4,50 ± 1,915	7,25 ± 0,500
Medio	5,75 ± 1,258	6,25 ± 0,957
Alto	5,56 ± 1,590	6,78 ± 0,972

**Tabla 52.** Media y desviación típica de la puntuación obtenida en el pretest y el postest sobre procedimientos científicos por estudiantes con diferente nivel de razonamiento lógico.

La **cuarta hipótesis** de la investigación ("el nivel de conocimiento informático influye en el aprendizaje por investigación mediante simuladores") se formula en términos estadísticos de la siguiente manera:

Hipótesis nula ( $H_0$ )  $\equiv$  No hay diferencia significativa en la puntuación del postest sobre procedimientos ni en la variación de puntuación entre el pretest y el postest para estudiantes con distinto nivel de conocimiento informático.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ )  $\equiv$  Hay diferencia significativa en la puntuación del postest sobre procedimientos o en la variación de puntuación entre el pretest y el postest para estudiantes con distinto nivel de conocimiento informático.

La prueba de Kruskal-Wallis es aplicada a la puntuación del postest para los tres grupos de alumnos con distinto nivel de conocimiento informático. Con un valor de  $\chi^2 = 0,913$  para 2 grados de libertad se acepta la hipótesis nula con un nivel de significación del 63,3 %, concluyéndose que no hay diferencia significativa en la puntuación obtenida en el postest sobre procedimientos científicos por alumnos con distinto nivel de conocimiento informático.

En cuanto a la influencia del nivel de conocimiento informático en la variación de la puntuación entre el pretest y el postest sobre procedimientos, la prueba de Kruskal-Wallis arroja un valor de  $\chi^2 = 0,277$  para dos grados de libertad, por lo que se acepta la hipótesis nula con un nivel de significación del 87,1 %, concluyéndose que no hay diferencia significativa en la variación de la puntuación obtenida en el pretest y el postest sobre procedimientos científicos por alumnos con distinto nivel de conocimiento informático. La Tabla 53 muestra que el alumnado con un nivel medio de conocimiento informático progresa en el conocimiento científico procedimental más que el resto.

Nivel de conocimiento informático	Puntuación en el pretest	Puntuación en el postest
Bajo	5,50 ± 1,000	6,75 ± 1,258
Medio	5,14 ± 2,268	7,00 ± 0,577
Alto	5,50 ± 1,049	6,50 ± 1,049

**Tabla 53.** Media y desviación típica de la puntuación obtenida en el pretest y el postest sobre procedimientos científicos por estudiantes con diferente nivel de conocimiento informático.

La **séptima hipótesis** de la investigación ("la enseñanza mediante trabajos de investigación con los simuladores procura un aprendizaje más significativo de contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales que la enseñanza tradicional") con relación a los contenidos procedimentales se formula en términos estadísticos de la siguiente manera:

Hipótesis nula ( $H_0$ )  $\equiv$  No hay diferencia significativa en la puntuación del postest sobre procedimientos ni en la variación de puntuación entre el pretest y el postest para estudiantes que realizan trabajos de investigación con simuladores y estudiantes que siguen una metodología transmisiva.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ )  $\equiv$  Hay diferencia significativa en la puntuación del postest sobre procedimientos o en la variación de puntuación entre el pretest y el postest para estudiantes que realizan trabajos de investigación con simuladores y estudiantes que siguen una metodología transmisiva.

La prueba de Mann-Whitney es aplicada a la puntuación del postest sobre procedimientos para estudiantes que realizan trabajos de investigación con simuladores y estudiantes que siguen una metodología transmisiva.

Se obtiene un valor de  $U = 157,0$  por lo que se acepta la hipótesis nula con un nivel de significación del 63,4 %, concluyéndose que no hay diferencia significativa en la puntuación del post-test sobre procedimientos científicos entre estudiantes que siguen distinta metodología.

Por otra parte, la prueba de Mann-Whitney aplicada a la variación de puntuación entre pre-test y post-test para estudiantes trabajando con metodología diferente, arroja un

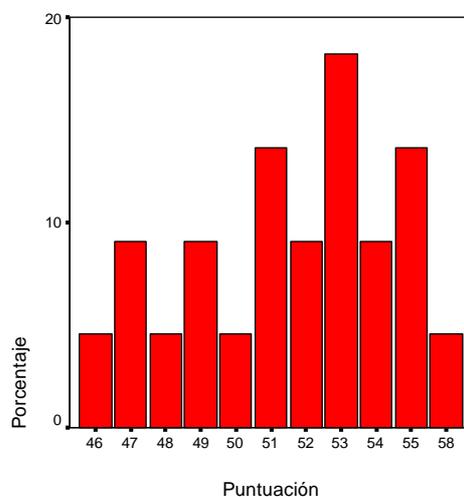
valor de  $U = 171,0$  por lo que se acepta la hipótesis nula con un nivel de significación del 96,3 %, concluyéndose que no hay diferencia significativa en la variación de puntuación entre el pre-test y el post-test sobre procedimientos científicos para estudiantes que siguen distinta metodología.

La puntuación media y la desviación típica obtenidas en el pre-test y el post-test por los alumnos de los grupos experimental y de control son mostradas en la Tabla 54.

Grupo de alumnos	Puntuación en el pretest	Puntuación en el postest
Experimental	$6,09 \pm 1,929$	$6,70 \pm 1,460$
Control	$6,17 \pm 1,339$	$6,87 \pm 1,060$

**Tabla 54.** Media y desviación típica de la puntuación obtenida en el pretest y el postest sobre procedimientos científicos por estudiantes trabajando con distinta metodología.

En cuanto al conocimiento actitudinal, la puntuación media obtenida por los estudiantes en el postest de Penichet y Mato es 51,53 con una desviación típica de 3,140, semejante a la media alcanzada en el pretest (50,63).



**Figura 18.** Distribución porcentual de las puntuaciones obtenidas en el postest de escala Likert sobre actitudes.

La Figura 18 muestra la distribución porcentual de las puntuaciones obtenidas por el alumnado en el postest, pudiéndose observar una reducción en el rango de las puntuaciones con respecto a las obtenidas en el pretest.

La prueba de Kolmogorov-Smirnov sobre la bondad de ajuste de un conjunto de datos a una distribución normal es aplicada a las puntuaciones obtenidas en el pretest y postest de escala Likert sobre actitudes.

La hipótesis nula estadística a contrastar es  $H_0 \equiv$  "las puntuaciones del pretest y del postest sobre actitudes proceden de distribuciones normales".

Los valores del estadístico Z de Kolmogorov-Smirnov para las puntuaciones del pretest y del postest sobre actitudes son 0,577 y 0,477, respectivamente, por lo que se acepta la hipótesis nula con un nivel de significación del 89,3 % y 97,7 %, respectivamente.

Por consiguiente, se concluye que las puntuaciones de los tests sobre actitudes cumplen el requisito de normalidad para ser sometidos a la prueba paramétrica de contraste de hipótesis de la t de Student.

La **sexta hipótesis** de la investigación ("el conocimiento de algunos contenidos actitudinales mejora significativamente tras la realización de trabajos de investigación con los simuladores") se formula en términos estadísticos de la siguiente manera:

Hipótesis nula ( $H_0$ )  $\equiv$  No hay diferencia significativa entre la puntuación del postest y del pretest de escala Likert sobre actitudes para los grupos experimentales de alumnos.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ )  $\equiv$  Hay diferencia significativa entre las puntuaciones del postest y del pretest de escala Likert sobre actitudes para los grupos experimentales de alumnos.

Con un valor de  $t = -0,199$  para 20 grados de libertad se acepta la hipótesis nula con un nivel de significación del 84,4 %, concluyéndose que no hay diferencia significativa entre las puntuaciones del pretest y del postest sobre actitudes.

En cuanto a la influencia del rendimiento académico en la puntuación del post-test actitudinal, la **tercera hipótesis** de la investigación ("el rendimiento académico influye en el aprendizaje por investigación mediante simuladores") se formula en términos estadísticos de la siguiente manera:

Hipótesis nula ( $H_0$ )  $\equiv$  No hay diferencia significativa en la puntuación del postest actitudinal ni en la variación de puntuación entre el pretest y el postest para estudiantes con distinto rendimiento académico.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ )  $\equiv$  Hay diferencia significativa en la puntuación del postest actitudinal o en la variación de puntuación entre el pretest y el postest para estudiantes con distinto rendimiento académico.

La prueba de Kruskal-Wallis aplicada a la puntuación del postest arroja un valor de  $\chi^2 = 7,357$  para 2 grados de libertad, por lo que se rechaza la hipótesis nula con un nivel de significación del 2,5 %, concluyéndose que hay diferencia significativa en la puntuación obtenida en el postest actitudinal por estudiantes con distinto rendimiento académico.

Como puede apreciarse en la Tabla 55, los estudiantes con mayor rendimiento académico obtienen mayor puntuación en el postest sobre actitudes.

Rendimiento académico	Puntuación en el pretest	Puntuación en el postest
Bajo	47,00 $\pm$ 2,530	49,33 $\pm$ 1,862
Medio	53,43 $\pm$ 6,051	51,00 $\pm$ 3,416
Alto	54,00 $\pm$ 4,536	53,75 $\pm$ 2,375

**Tabla 55.** Media y desviación típica de la puntuación obtenida en el pretest y el postest sobre actitudes científicas por estudiantes con diferente rendimiento académico.

En cuanto a la influencia del rendimiento académico en la variación de la puntuación entre el pretest y el postest sobre actitudes, la prueba de Kruskal-Wallis arroja un valor de  $\chi^2 = 1,283$  para 2 grados de libertad, por lo que se acepta la hipótesis nula con un nivel de significación del 52,7 %, concluyéndose que no hay diferencia significativa en la variación de las puntuaciones entre el pretest y el postest sobre actitudes, para estudiantes con distinto rendimiento académico.

Sin embargo, los alumnos con menor rendimiento académico experimentan un progreso en su actitud hacia la ciencia más importante que el resto del alumnado.

La **segunda hipótesis** de la investigación ("el nivel de razonamiento lógico influye en el aprendizaje por investigación mediante simuladores") se formula en términos estadísticos de la siguiente manera:

Hipótesis nula ( $H_0$ )  $\equiv$  No hay diferencia significativa en la puntuación del postest actitudinal ni en la variación de puntuación entre el pretest y el postest para estudiantes con distinto nivel de razonamiento lógico.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ )  $\equiv$  Hay diferencia significativa en la puntuación del postest actitudinal o en la variación de puntuación entre el pretest y el postest para estudiantes con distinto nivel de razonamiento lógico.

La prueba de Kruskal-Wallis es aplicada a la puntuación del postest para los tres grupos de alumnos con distinto nivel de razonamiento lógico. Con un valor de  $\chi^2 = 5,950$  para 2 grados de libertad se acepta la hipótesis nula con un nivel de significación del 5,1 % concluyéndose que no hay diferencia significativa en la puntuación obtenida en el postest sobre actitudes por alumnos con distinto nivel de razonamiento lógico.

En cuanto a la influencia del nivel de razonamiento lógico en la variación de la puntuación entre el pretest y el postest sobre actitudes, la prueba de Kruskal-Wallis arroja un valor de  $\chi^2 = 0,316$  para 2 grados de libertad, por lo que se acepta la hipótesis nula con un nivel de significación del 85,4 %, concluyéndose que no hay diferencia significativa en la variación de las puntuaciones entre el pretest y el postest sobre actitudes, para estudiantes con distinto nivel de razonamiento lógico.

La Tabla 56 muestra que los valores medios de la puntuación obtenida en el test actitudinal por estudiantes con distinto nivel de razonamiento formal, apenas cambian tras la realización de las actividades de investigación con simuladores.

Nivel de razonamiento lógico	Puntuación en el pretest	Puntuación en el postest
Bajo	49,50 $\pm$ 4,930	49,00 $\pm$ 2,608
Medio	51,00 $\pm$ 3,808	52,00 $\pm$ 2,449
Alto	53,60 $\pm$ 6,186	52,90 $\pm$ 2,998

**Tabla 56.** Media y desviación típica de la puntuación obtenida en el pretest y el postest sobre actitudes científicas por estudiantes con diferente nivel de razonamiento lógico.

La **cuarta hipótesis** de la investigación ("el nivel de conocimiento informático influye en el aprendizaje por investigación mediante simuladores") se formula en términos estadísticos de la siguiente manera:

Hipótesis nula ( $H_0$ )  $\equiv$  No hay diferencia significativa en la puntuación del postest actitudinal ni en la variación de puntuación entre el pretest y el postest para estudiantes con distinto nivel de conocimiento informático.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ )  $\equiv$  Hay diferencia significativa en la puntuación del postest actitudinal o en la variación de puntuación entre el pretest y el postest para estudiantes con distinto nivel de conocimiento informático.

La prueba de Kruskal-Wallis es aplicada a la puntuación del postest para los tres grupos de alumnos con distinto nivel de conocimiento informático. Con un valor de  $\chi^2 = 3,884$  para 2 grados de libertad se acepta la hipótesis nula con un nivel de significación del 14,6%, concluyéndose que no hay diferencia significativa en la puntuación obtenida en el postest sobre actitudes por alumnos con distinto nivel de conocimiento informático.

Nivel de conocimiento informático	Puntuación en el pretest	Puntuación en el postest
Bajo	49,56 $\pm$ 4,126	50,11 $\pm$ 2,713
Medio	52,83 $\pm$ 5,981	52,17 $\pm$ 4,021
Alto	54,17 $\pm$ 6,178	53,17 $\pm$ 2,041

**Tabla 57.** Media y desviación típica de la puntuación obtenida en el pretest y el postest sobre actitudes científicas por estudiantes con diferente nivel de conocimiento informático.

En cuanto a la influencia del nivel de conocimiento informático en la variación de la puntuación entre el pretest y el postest sobre actitudes, la prueba de Kruskal-Wallis arroja un valor de  $\chi^2 = 0,447$  para 2 grados de libertad por lo que se acepta la hipótesis nula con un nivel de significación del 80 %, concluyéndose que no hay diferencia significativa en la variación de las puntuaciones entre el pretest y el postest sobre actitudes, para estudiantes con distinto nivel de conocimiento informático.

La Tabla 57 muestra que los valores medios de la puntuación obtenida en el test actitudinal por estudiantes con distinto nivel de conocimiento informático, apenas cambian tras la realización de las actividades de investigación con simuladores.

La **séptima hipótesis** de la investigación ("la enseñanza mediante trabajos de investigación con los simuladores procura un aprendizaje más significativo de contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales que la enseñanza tradicional") con relación a los contenidos actitudinales se formula en términos estadísticos de la siguiente manera:

Hipótesis nula ( $H_0$ )  $\equiv$  No hay diferencia significativa en la puntuación del postest sobre actitudes ni en la variación de puntuación

entre el pretest y el postest para estudiantes que realizan trabajos de investigación con simuladores y estudiantes que siguen una metodología transmisiva.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ )  $\equiv$  Hay diferencia significativa en la puntuación del postest sobre actitudes o en la variación de puntuación entre el pretest y el postest para estudiantes que realizan trabajos de investigación con simuladores y estudiantes que siguen una metodología transmisiva.

En cuanto a la puntuación obtenida por los estudiantes del grupo experimental y del grupo de control en el postest de escala Likert sobre actitudes científicas, la prueba de Mann-Whitney arroja un valor de  $U = 166,0$  por lo que se acepta la hipótesis nula con un nivel de significación del 55,1 %, concluyéndose que no hay diferencia significativa en la puntuación del post-test sobre actitudes científicas entre estudiantes que siguen distinta metodología.

Por otro lado, la prueba de Mann-Whitney aplicada a la variación de puntuación entre el pretest y el postest de escala Likert sobre actitudes científicas ofrece un valor de  $U=168,0$  por lo que se acepta la hipótesis nula con un nivel de significación del 58,9 %, concluyéndose que no hay diferencia significativa.

La puntuación media y la desviación típica obtenidas en el pre-test y el post-test por los alumnos de los grupos experimental y de control son mostradas en la Tabla 58.

Grupo de alumnos	Puntuación en el pretest	Puntuación en el postest
Experimental	49,50 $\pm$ 5,050	51,45 $\pm$ 7,576
Control	48,59 $\pm$ 9,988	49,76 $\pm$ 2,068

**Tabla 58.** Media y desviación típica de la puntuación obtenida en el pretest y el postest de escala Likert sobre actitudes científicas por estudiantes trabajando con distinta metodología.

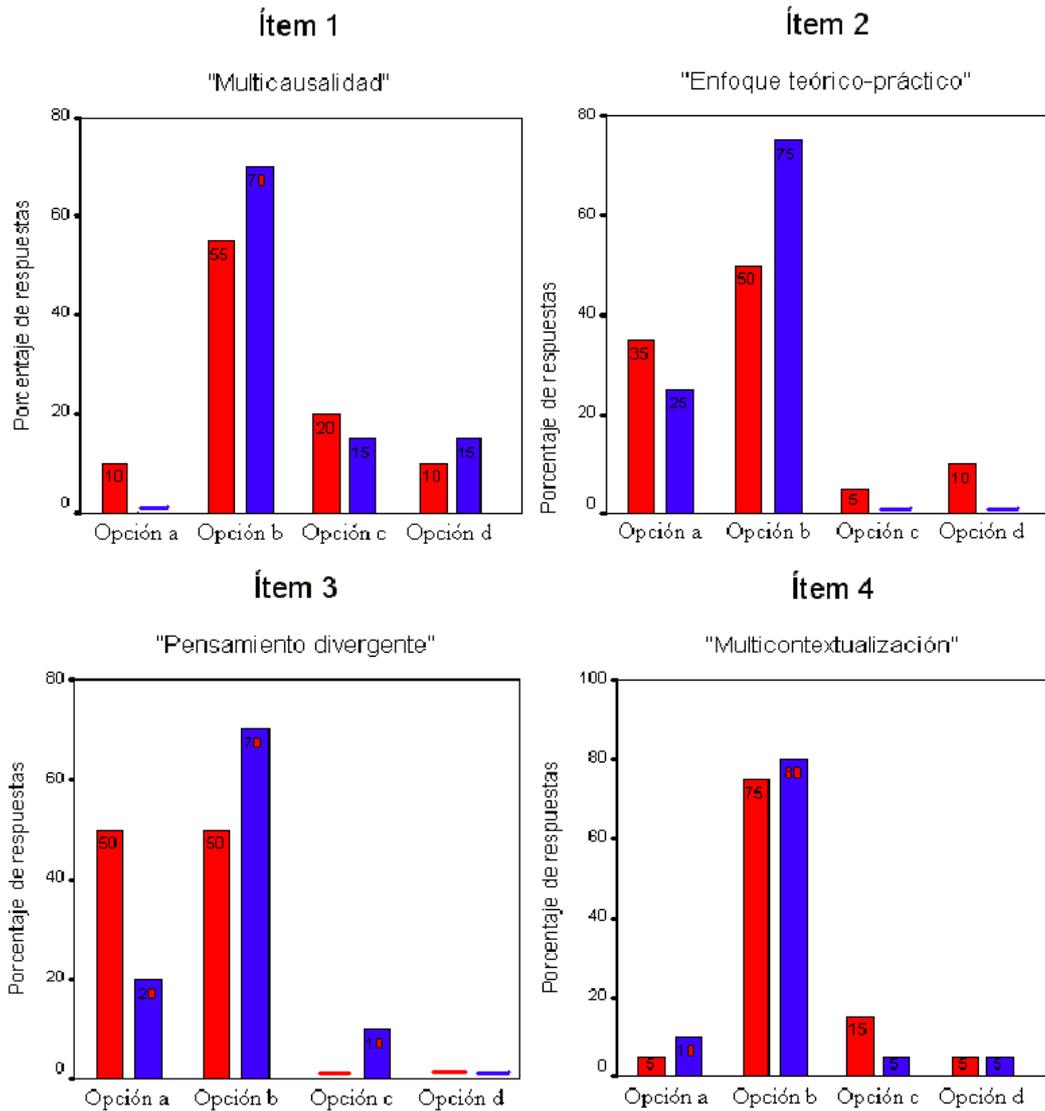
Las Figuras 19, 20 y 21 muestran el porcentaje de las respuestas dadas en el pretest y en el postest a los 11 primeros ítems del cuestionario sobre actitudes científicas de García, que se corresponden con distintos grados de acuerdo o desacuerdo (opción a = *totalmente de acuerdo*; opción b = *de acuerdo*; opción c = *sin opinión definida*; opción d = *en desacuerdo*; opción e = *totalmente en desacuerdo*). Para cada opción, la barra izquierda representa el porcentaje de respuestas en el pretest y la barra derecha el correspondiente al postest.

---

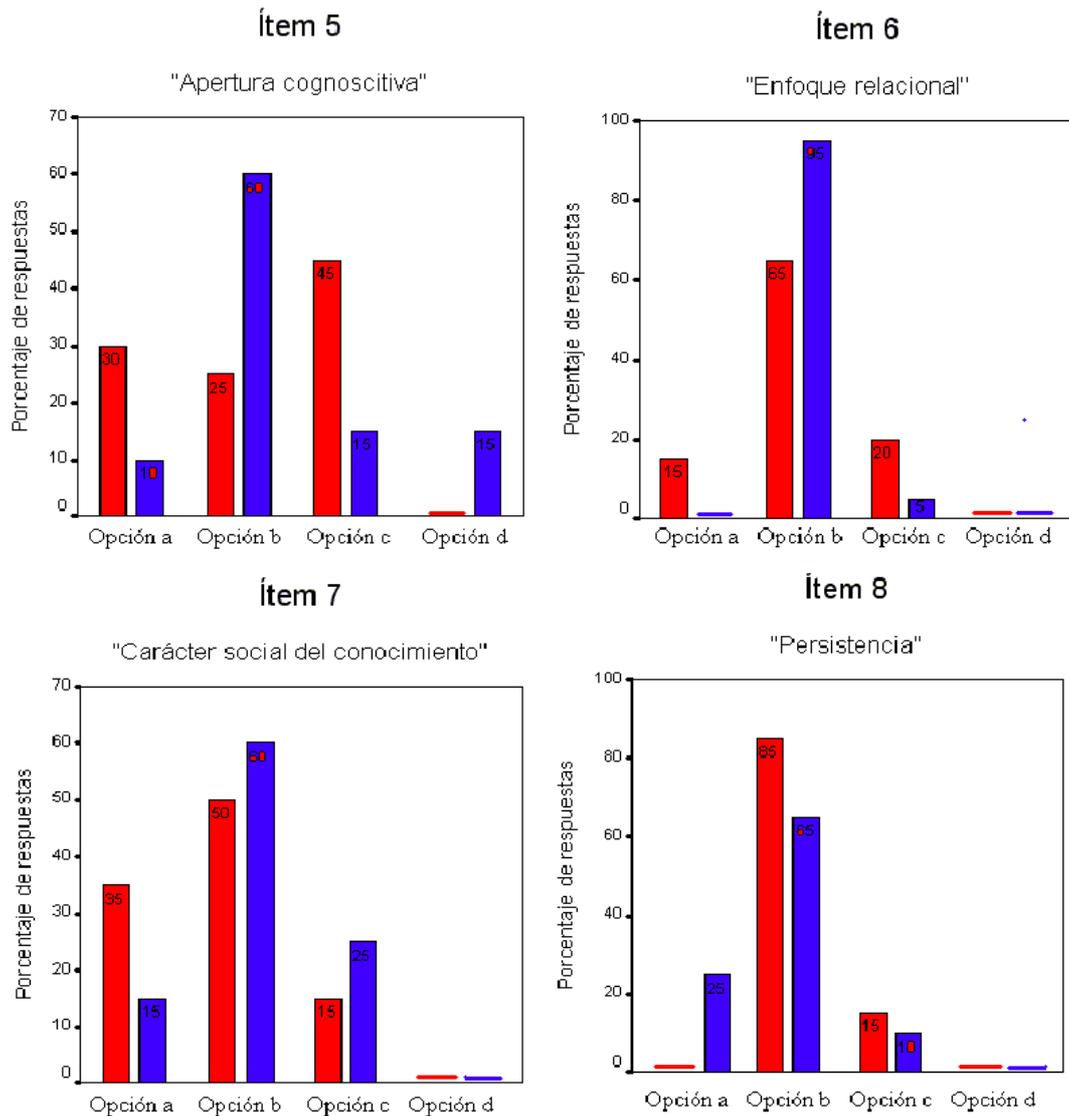
Como se puede apreciar en las mencionadas figuras, el porcentaje de estudiantes que suscriben el enunciado del ítem aumenta del pretest al postest para todos los ítems salvo para el ítem 3, del que un exiguo porcentaje de alumnos no tienen opinión definida en el postest, y para el ítem 10, que no suscita cambio alguno en la opinión de los alumnos tras la experiencia con los simuladores.

Es destacable el considerable cambio experimentado en la respuesta al ítem 11 sobre el rol activo del estudiante de ciencias: si inicialmente sólo un 35 % del alumnado consideraba necesario recopilar otros datos distintos a los ofrecidos por el problema abordado, tras la experiencia con los simuladores este porcentaje se incrementa al 80%.

La prueba de Mann-Whitney aplicada a las respuestas dadas por el alumnado de los grupos experimental y de control correspondientes a la cuarta fase de la investigación permite detectar una diferencia significativa sólo para el ítem 4 (con un valor de  $U=86,0$  y  $p=0,004$ ). Un 90 % de los estudiantes del grupo experimental consideran en el postest que *los conceptos científicos pueden y deben ser aplicados para explicar e interpretar situaciones y problemas de la vida diaria*, frente a un 60 % del alumnado del grupo de control.



**Figura 19.** Comparación de las respuestas en el pretest y en el posttest para los 4 primeros ítems del cuestionario de García, indicando el porcentaje de alumnos que elige cada opción antes (barra de la izquierda) y después (barra de la derecha) de la experiencia con los simuladores.



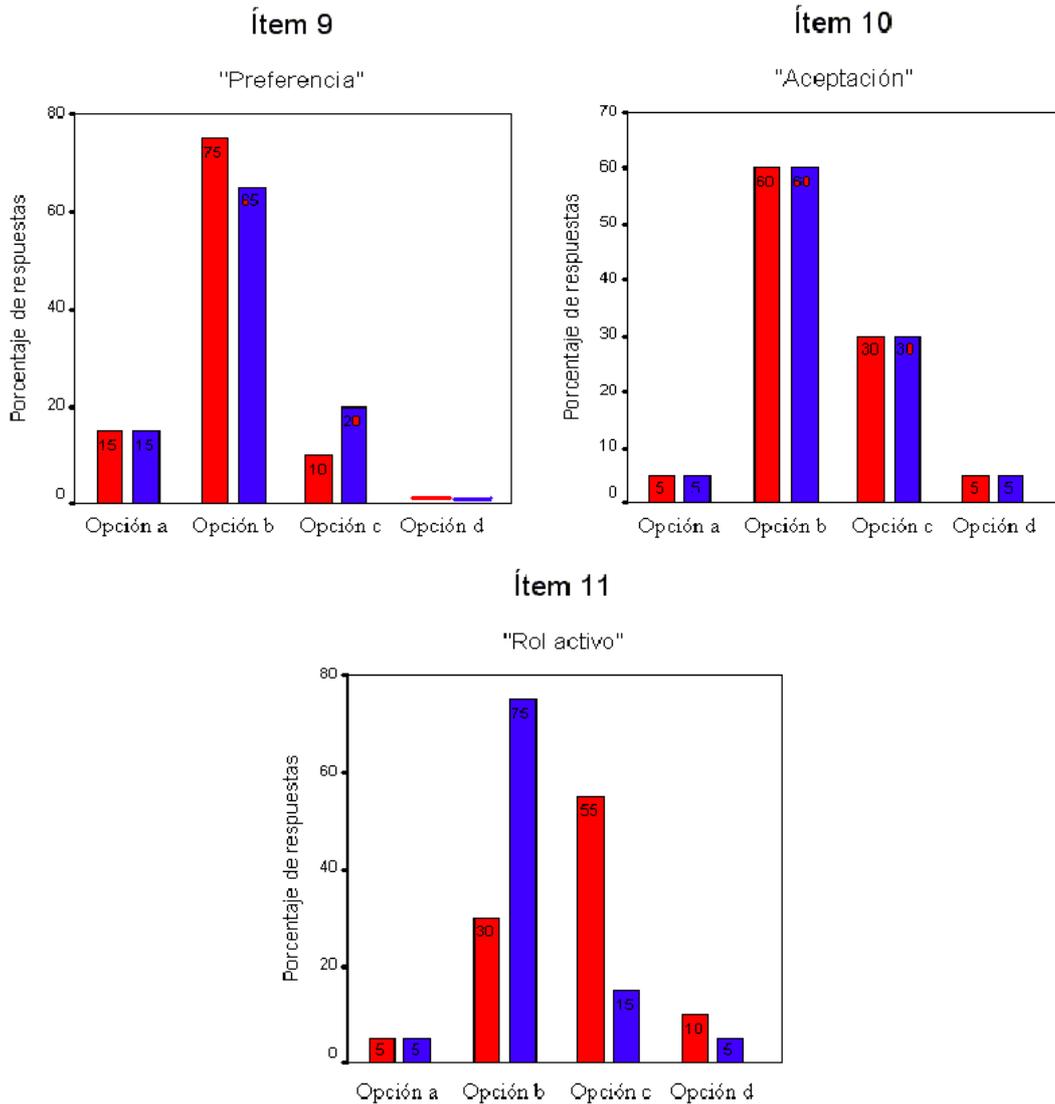
**Figura 20.** Comparación de las respuestas en el pretest y en el postest para los ítems del cuestionario de García comprendidos entre el 5 y el 7, indicando el porcentaje de alumnos que elige cada opción antes (barra de la izquierda) y después (barra de la derecha) de la experiencia con los simuladores.

La Figura 22 muestra el porcentaje de las respuestas dadas en el pretest y en el postest a los 4 últimos ítems del cuestionario de García. Como puede apreciarse en el diagrama de barras, la visión del alumnado acerca del origen de la Ciencia (ítem 12) evoluciona tras la experiencia con los simuladores, aumentando considerablemente el número de estudiantes que considera como punto de partida del conocimiento científico, el pensamiento sobre la realidad, al permitir la elaboración de modelos.

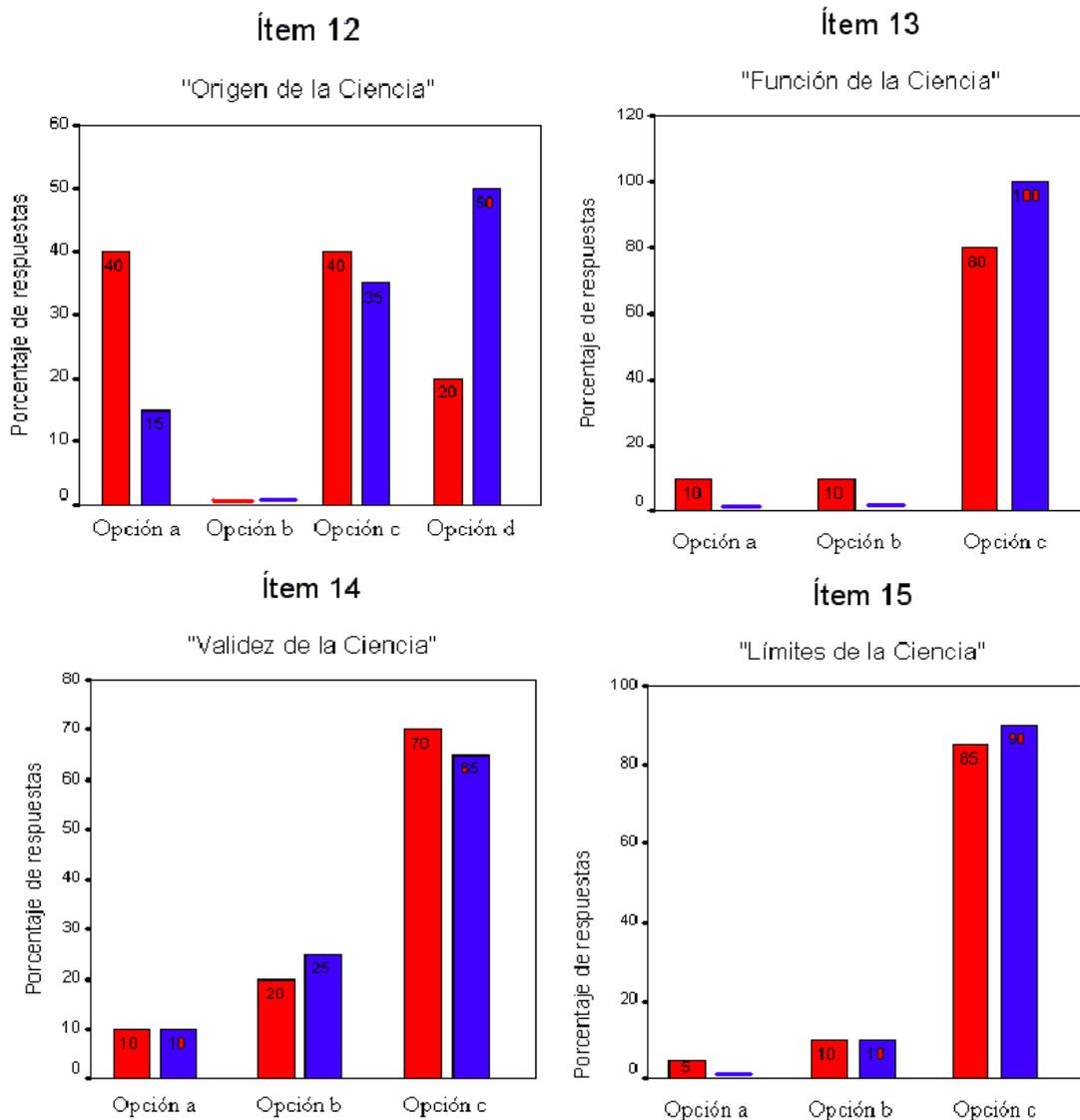
Asimismo, en el postest se incrementa el porcentaje de estudiantes que consideran como objetivo de la Ciencia (ítem 13) crear modelos que ayuden a la comprensión de los fenómenos naturales.

La visión del alumnado acerca de la validez de las soluciones propuestas por la Ciencia a los problemas, permanece inalterada en el postest con relación al pretest: más de la mitad de los estudiantes fundamenta la validez de las soluciones científicas en su capacidad de explicar los fenómenos naturales.

En cuanto al progreso de la Ciencia, la mayoría del alumnado mantiene la creencia en un avance ilimitado que se justifica en la aparición continua de nuevos problemas a resolver.



**Figura 21.** Comparación de las respuestas en el pretest y en el postest para los ítems del cuestionario de García comprendidos entre el 9 y el 11, indicando el porcentaje de alumnos que elige cada opción antes (barra de la izquierda) y después (barra de la derecha) de la experiencia con los simuladores.



**Figura 22.** Comparación de las respuestas en el pretest y en el postest para los 4 últimos ítems del cuestionario de García, indicando el porcentaje de alumnos que elige cada opción antes (barra de la izquierda) y después (barra de la derecha) de la experiencia con los simuladores.

El análisis de correspondencias múltiples aplicado a los 4 últimos ítems de respuesta múltiple del cuestionario de García, permite diagnosticar la existencia en el alumnado de tres enfoques distintos acerca de la Ciencia, que se mantienen invariantes tras la realización de las actividades de investigación con simuladores.

El análisis de las respuestas al postest permite reducir los 4 ítems analizados a sendos factores cuyos autovalores son  $\lambda_1 = 0,442$  y  $\lambda_2 = 0,390$ . El factor 1 representa la visión del alumnado sobre la validez y la función de la Ciencia, mientras que el factor 2 se relaciona con la creencia del alumnado acerca de los límites de la ciencia.

Se identifican dos grupos de valores en posiciones extremas a lo largo del eje 1, y otro tercer grupo en una posición intermedia en el eje 1, pero con distintas coordenadas en el eje 2 respecto a los dos grupos anteriores.

Un *primer grupo* de alumnos se caracteriza por asumir las siguientes creencias:

- El origen del conocimiento científico reside en los hechos y los datos obtenidos de los experimentos.
- Las soluciones científicas a los problemas son válidas porque siempre pueden ser reemplazadas por otras más acertadas.
- El progreso de la Ciencia es ilimitado ya que surgen continuamente problemas a resolver.

Por consiguiente, este grupo de estudiantes presenta una *concepción inductivista* de la Ciencia.

Un *segundo grupo* está constituido por el alumnado que considera el pensamiento sobre la realidad como origen del conocimiento científico, al crear modelos sobre ella. Además, estos estudiantes creen que el progreso de la Ciencia es ilimitado ya que existen múltiples interpretaciones de las teorías según la cultura y la historia de los pueblos.

En consecuencia, el alumnado de este grupo presenta un *enfoque idealista* de la Ciencia.

Por último, un *tercer grupo* de estudiantes asume las siguientes creencias:

- El conocimiento científico se construye a partir de las teorías, ecuaciones y principios.
- La función de la Ciencia es crear nuevas realidades mediante el estudio de la naturaleza.
- El progreso de la Ciencia es ilimitado ya que surgen continuamente problemas a resolver.

Por tanto, los estudiantes de este grupo conciben la Ciencia desde una *perspectiva teórico-práctica*.

La Tabla 59 muestra el porcentaje de las respuestas dadas por los estudiantes a cada uno de los ítems del Test sobre actitudes de Vázquez y Manassero. Esta distribución porcentual de las respuestas del alumnado en el postest es semejante (idéntica para los ítems 1 y 3) a la obtenida en el pretest, como puede apreciarse en la Figura 23.

ITEM	PORCENTAJE DE RESPUESTAS		
	1	2	3
1	52	48	-
2	35	65	-
3	2	98	-
4	20	80	-
5	60	40	-
6	85	15	0

**Tabla 59.** Distribución porcentual de las respuestas al postest de Vázquez y Manassero.

Con objeto de evaluar si existen diferencias significativas entre las respuestas ofrecidas por los alumnos en el postest y en el pretest de Vázquez y Manassero, se plantean las siguientes hipótesis a contrastar mediante la prueba de los rangos con signo de Wilcoxon:

Hipótesis nula ( $H_0$ )  $\equiv$  No hay diferencia significativa entre las respuestas dadas al pretest y al postest por estudiantes que han realizado trabajos de investigación con simuladores.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ )  $\equiv$  Hay diferencia significativa entre las respuestas dadas al pretest y al postest por estudiantes que han realizado trabajos de investigación con simuladores.

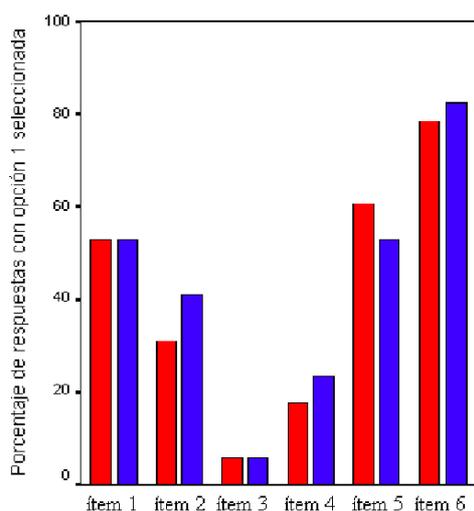
Para cada uno de los ítems se acepta la hipótesis nula, con los valores para el estadístico Z de Wilcoxon y el nivel de significación mostrados en la Tabla 60.

Por consiguiente, se concluye que no hay diferencia significativa entre las respuestas dadas por los estudiantes al pretest y al postest de Vázquez y Manassero.

ITEM	1	2	3	4	5	6
Z DE WILCOXON	0	-0,447	0	-0,577	-1	-1,342
NIVEL DE SIGNIFICACIÓN (%)	100	66,5	100	56,4	31,7	18,0

**Tabla 60.** Resultados de la prueba de los rangos con signo de Wilcoxon para contrastar la hipótesis nula,  $H_0 \equiv$  "No hay diferencia significativa entre las respuestas dadas al pretest y al postest por estudiantes que han realizado trabajos de investigación con simuladores".

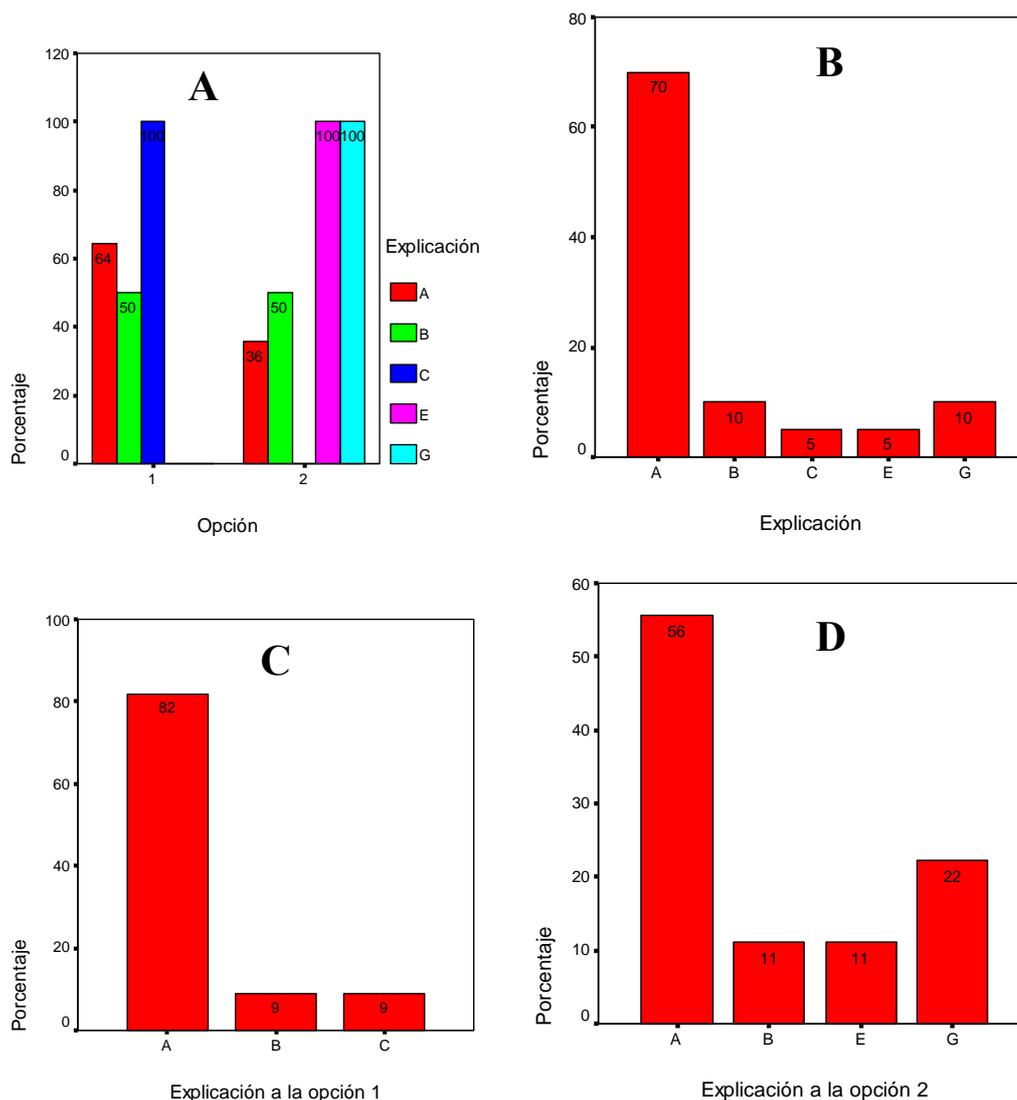
La Figura 24 refleja que casi la mitad del alumnado sigue manteniendo una concepción del modelo científico como copia exacta de la realidad, aun después de haber trabajado con programas de simulación de fenómenos físicos. Estos estudiantes fundamentan su creencia en el modelo como copia exacta de la realidad, recurriendo a las evidencias científicas que prueban la veracidad de los modelos (explicación G) o considerando que la exactitud de un modelo no puede darse por supuesta (explicación E), como se muestra en la Figura 25.



**Figura 24.** Comparación del porcentaje de estudiantes que eligen la opción 1 en los ítems, antes (barra de la izquierda) y después (barra de la derecha) de realizar los trabajos de investigación con simuladores.

La otra mitad de los estudiantes asume los modelos científicos como metáforas útiles para la comprensión de los fenómenos naturales.

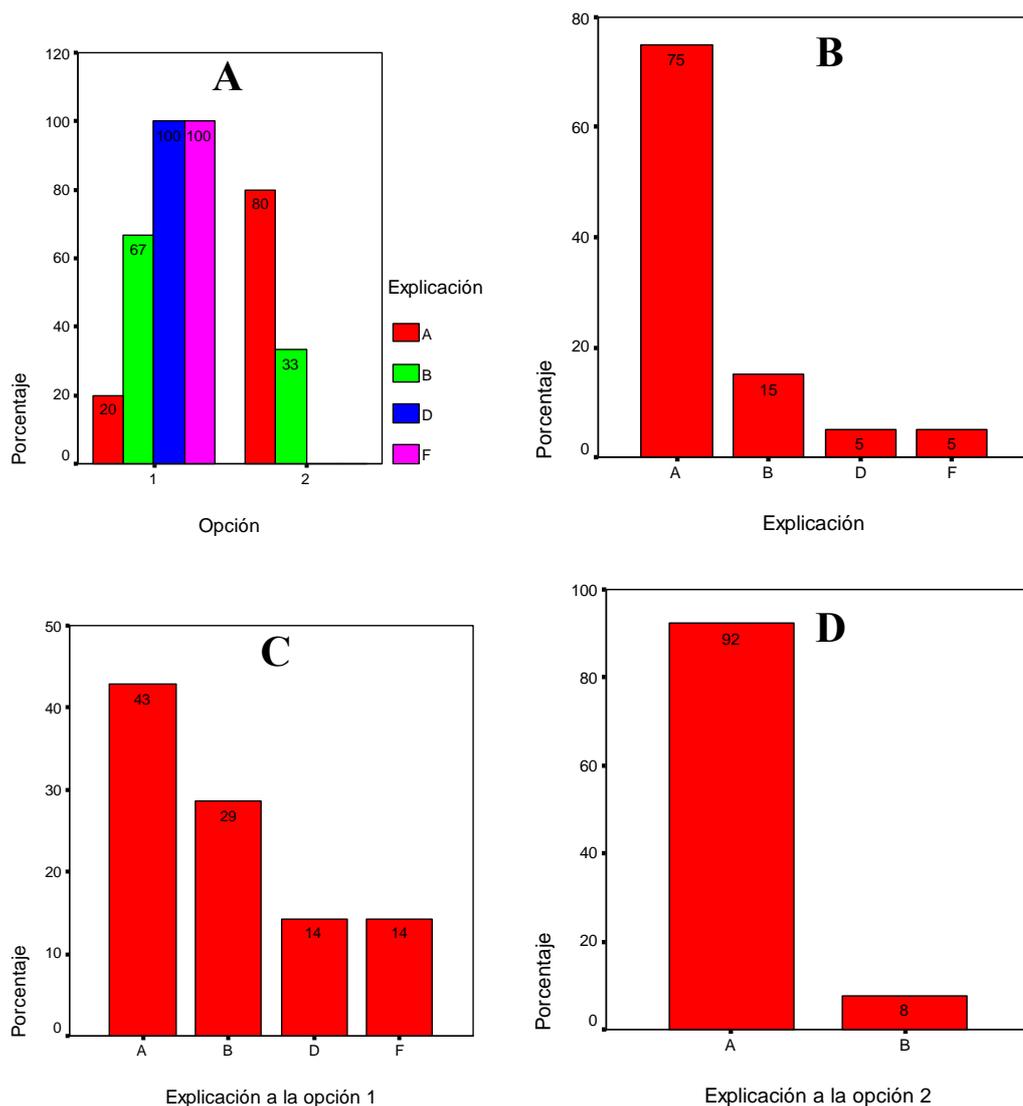
El número de alumnos que en el postest considera los modelos como medios útiles para aprender y explicar (explicación A), duplica al número de alumnos que elige este argumento en el pretest.



**Figura 25.** Distribución porcentual de las explicaciones al ítem 1.

- A) Diagrama de barras de la distribución de las explicaciones asociadas a cada opción.
- B) Diagrama de barras de la distribución de las explicaciones independientemente de la opción escogida.
- C) Diagrama de barras de la distribución de las explicaciones asociadas a la opción 1.
- D) Diagrama de barras de la distribución de las explicaciones asociadas a la opción 2.

Casi tres cuartas partes del alumnado sigue creyendo que no existe una única forma de clasificar cuando se construye el conocimiento científico, reduciéndose la diversidad de argumentos esgrimidos en el pretest a tan sólo dos en el postest (Figura 26), predominando con un 92 % que *los nuevos descubrimientos pueden conducir a diferentes clasificaciones* (explicación A). Los estudiantes que consideran una única forma de clasificar la naturaleza, incorporan en el postest nuevos argumentos con respecto al pretest: *la ciencia no es nunca exacta por lo que podría haber errores en las clasificaciones actuales* (explicación B) y *nadie puede conocer la forma como es realmente la naturaleza* (explicación D).

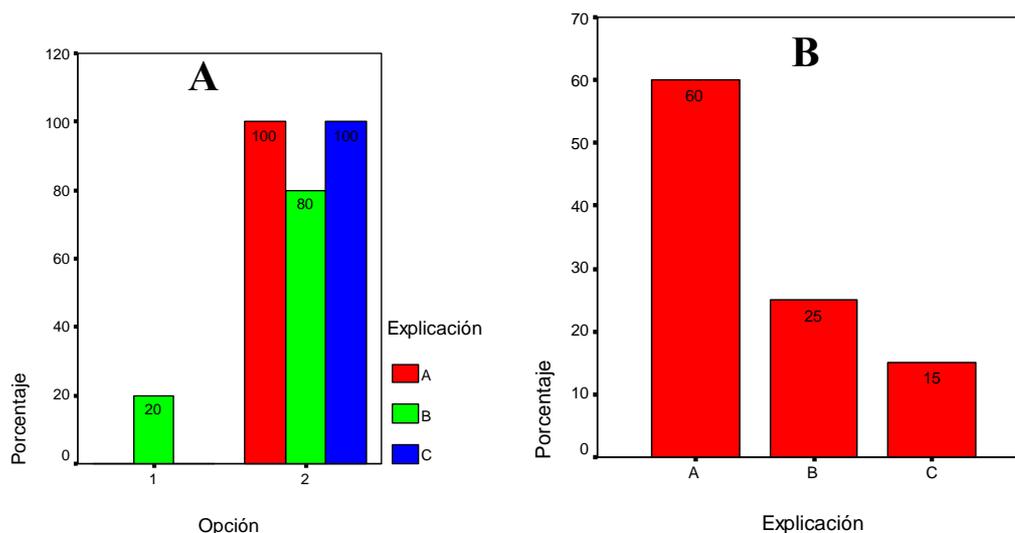


**Figura 26.** Distribución porcentual de las explicaciones al ítem 2.

- A) Diagrama de barras de la distribución de las explicaciones asociadas a cada opción.  
 B) Diagrama de barras de la distribución de las explicaciones independientemente de la opción escogida.  
 C) Diagrama de barras de la distribución de las explicaciones asociadas a la opción 1.  
 D) Diagrama de barras de la distribución de las explicaciones asociadas a la opción 2.

Casi todos los estudiantes siguen considerando que el conocimiento científico puede cambiar en el futuro, reduciéndose el número de argumentos esgrimidos por éstos, de cinco en el pretest a tres en el postest (Figura 27), y duplicándose el número de alumnos para los que *el conocimiento científico siempre ha cambiado* (explicación A).

En cuanto a los pocos alumnos (menos del 10 %) que confieren al conocimiento científico una validez ilimitada en el tiempo, mantienen como argumento que *el conocimiento científico cambia cuando nuevos científicos desaprueban las teorías de viejos científicos* (explicación B).



**Figura 27.** Distribución porcentual de las explicaciones al ítem 3.

A) Diagrama de barras de la distribución de las explicaciones asociadas a cada opción.

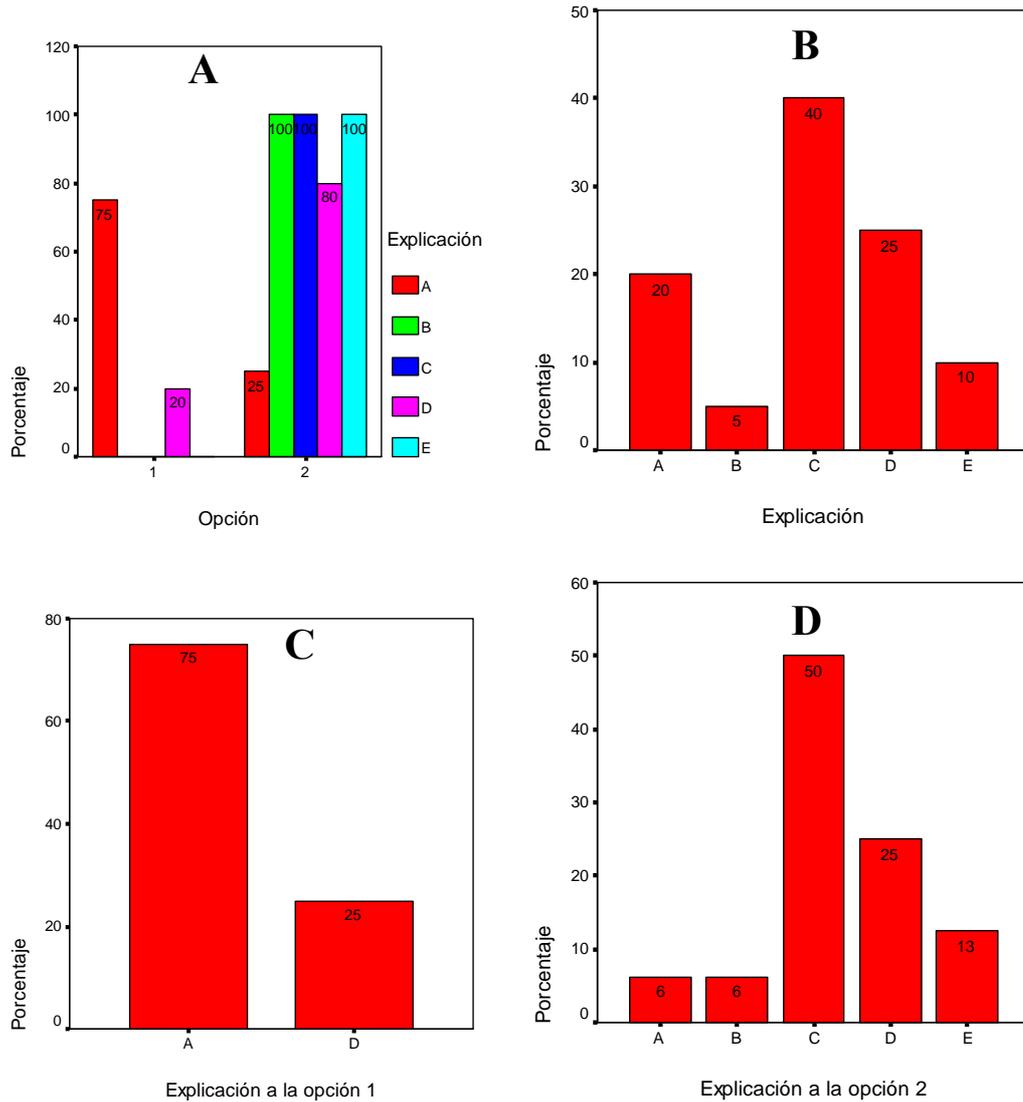
B) Diagrama de barras de la distribución de las explicaciones independientemente de la opción escogida.

Unas tres cuartas partes del alumnado siguen creyendo que *los mejores científicos no se encierran en sí mismos siguiendo las etapas del método científico, sino que usan cualquier procedimiento que les pueda ser útil.*

En el postest, como ya sucediera en el pretest, los estudiantes eligen diversas explicaciones para justificar su respuesta (Figura 28), entre las que predomina nuevamente la explicación C: *la originalidad y la creatividad es tan importante como el método científico.*

En cambio, con relación al pretest, disminuye el número de estudiantes de acuerdo con la afirmación de que *el progreso de la ciencia ocurre cuando los científicos son libres para emplear cualquier método* (explicación E), mientras que aumenta el porcentaje de alumnos en la creencia de que *el método científico no asegura resultados y por tanto, los mejores científicos deben usar también otros métodos* (explicación D).

Una cuarta parte del alumnado considera que *los mejores científicos siguen las etapas del método científico*, de los que un 75 % se justifican en que *el método científico asegura resultados válidos y precisos* (explicación A).



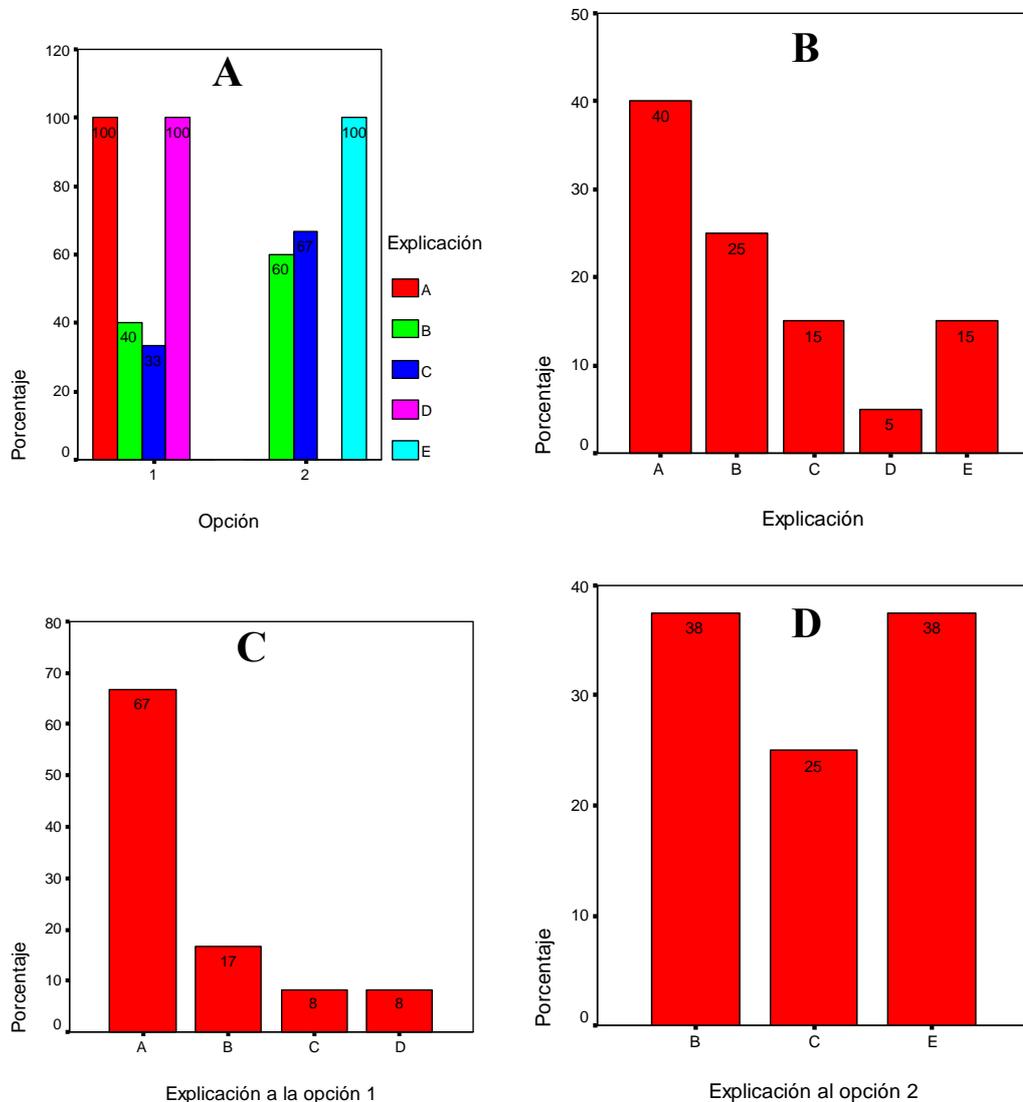
**Figura 28.** Distribución porcentual de las explicaciones al ítem 4.

- A) Diagrama de barras de la distribución de las explicaciones asociadas a cada opción.  
 B) Diagrama de barras de la distribución de las explicaciones independientemente de la opción escogida.  
 C) Diagrama de barras de la distribución de las explicaciones asociadas a la opción 1.  
 D) Diagrama de barras de la distribución de las explicaciones asociadas a la opción 2.

Más de la mitad de los estudiantes sigue creyendo, tras la experiencia con los simuladores, que las relaciones sociales pueden influir sobre el trabajo científico y en consecuencia, sobre el contenido del conocimiento científico que descubre.

El argumento que aún predomina en apoyo de esta creencia (Figura 29) es que *los contactos sociales siempre influyen en el trabajo de una persona* (explicación A), aunque disminuye el número de alumnos de acuerdo con el argumento de que *un científico puede ser ayudado incorporando las ideas de aquellos con quienes se relacionan* (explicación B).

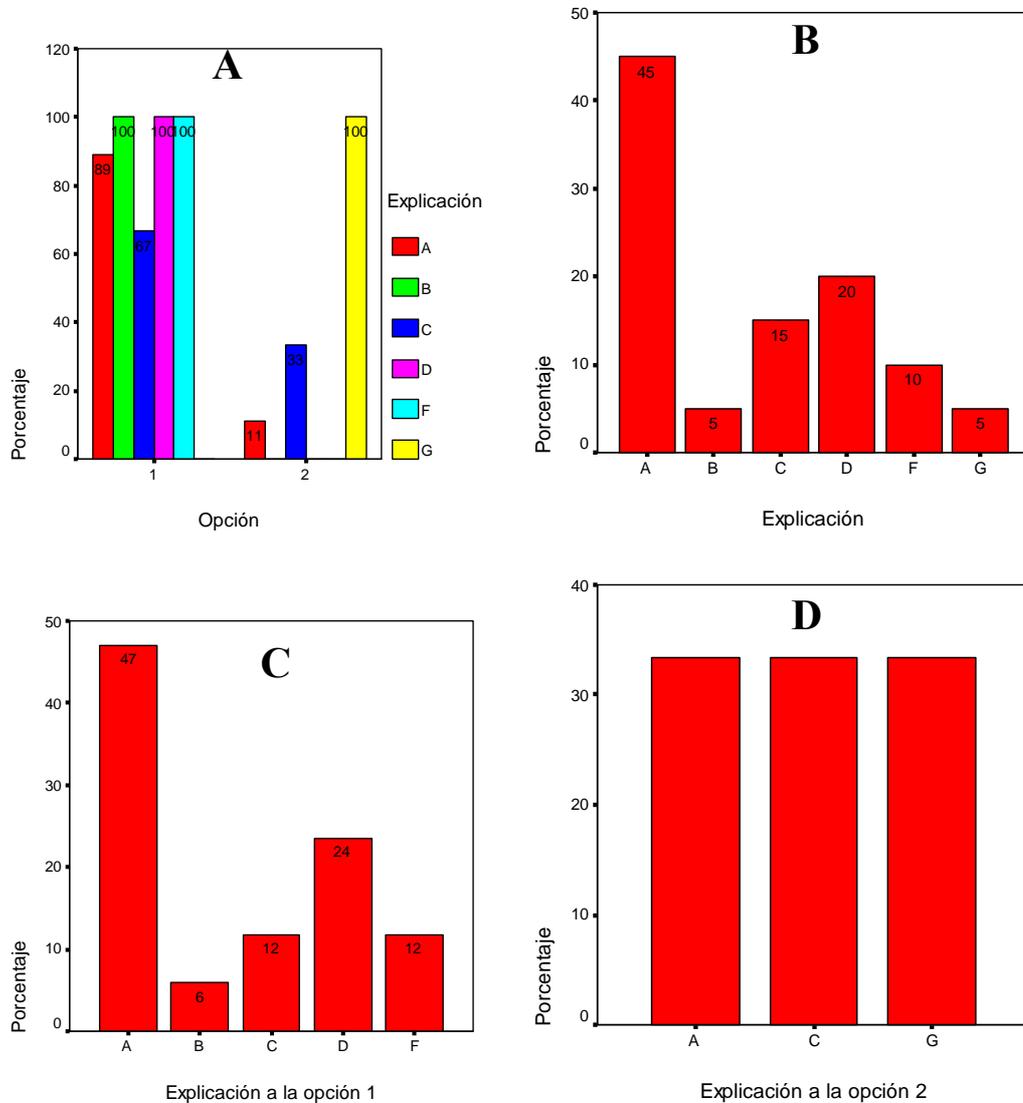
Por otro lado, si se comparan los resultados del pretest con los del postest, se puede apreciar una reducción en la diversidad de argumentos esgrimidos por el alumnado que no cree en la influencia de las relaciones sociales sobre el trabajo científico.



**Figura 29.** Distribución porcentual de las explicaciones al ítem 5.  
 A) Diagrama de barras de la distribución de las explicaciones asociadas a cada opción.  
 B) Diagrama de barras de la distribución de las explicaciones independientemente de la opción escogida.  
 C) Diagrama de barras de la distribución de las explicaciones asociadas a la opción 1.  
 D) Diagrama de barras de la distribución de las explicaciones asociadas a la opción 2.

Casi todo el alumnado sigue considerando que *cuando los científicos discrepan sobre algún tema es porque no disponen de la misma información*. Esta creencia se justifica para la mitad de los estudiantes (Figura 30) en que *los datos científicos conducen a una conclusión correcta y por tanto, los desacuerdos ocurren cuando no se tienen todos los datos* (explicación A).

Nuevamente, al comparar los resultados del pretest con los del postest se puede apreciar una reducción en la diversidad de los argumentos seleccionados por el alumnado.



**Figura 30.** Distribución porcentual de las explicaciones al ítem 6.

- A) Diagrama de barras de la distribución de las explicaciones asociadas a cada opción.  
 B) Diagrama de barras de la distribución de las explicaciones independientemente de la opción escogida.  
 C) Diagrama de barras de la distribución de las explicaciones asociadas a la opción 1.  
 D) Diagrama de barras de la distribución de las explicaciones asociadas a la opción 2.

El **análisis de correspondencias múltiples** aplicado a los 6 ítems de respuesta múltiple del cuestionario de Vázquez y Manassero, permite diagnosticar la emergencia entre el alumnado de dos concepciones distintas acerca de la Ciencia, que se mantienen invariantes tras la realización de las actividades de investigación con simuladores.

El análisis de las respuestas al postest permite reducir los 6 ítems analizados a sendos factores cuyos autovalores son  $\lambda_1 = 0,396$  y  $\lambda_2 = 0,222$ . El primer factor define el eje "visión acerca del modelo científico" y el segundo factor define el eje "discrepancias entre científicos y provisionalidad del conocimiento científico".

Cabe destacar que el alumnado, tras haber realizado pequeñas investigaciones con los simuladores, incorpora en sus creencias una dimensión social del trabajo científico, que no estaba presente en las categorías identificadas mediante el análisis de correspondencias en el pretest. No obstante, los alumnos con una mentalidad positivista antes de realizar los trabajos de investigación con los simuladores, la siguen manteniendo después de haberlos realizado.

Las categorías emergentes con respecto a las creencias sobre la Ciencia son las mismas que se identifican en el pretest:

- a) Pensamiento positivista, suscrito por una minoría de alumnos que conciben los modelos científicos como copias exactas de la realidad, consideran que las clasificaciones científicas reflejan la naturaleza tal como es realmente y no creen que los contactos sociales puedan influir sobre el trabajo científico.
- b) Pensamiento científico, asumido por la mayoría del alumnado que concibe los modelos científicos como metáforas útiles para comprender la realidad, considera que existen muchas formas correctas de clasificar la naturaleza y cree que los contactos sociales pueden influir sobre el trabajo científico.

El alumnado cumplimenta, tras la realización de las actividades con los simuladores, un cuestionario con el fin de indagar su opinión acerca de la experiencia desarrollada, así como de recoger sus propuestas de mejora.

La Tabla 61 muestra el porcentaje del alumnado que está de acuerdo con las distintas afirmaciones planteadas en el cuestionario de opinión.

ÍTEM	PORCENTAJE DE ESTUDIANTES DE ACUERDO
El uso de los simuladores en Física y Química es interesante	100
Trabajar en equipo ayuda a aprender más y mejor	88
La Física y Química es más atractiva cuando se realizan actividades de investigación	92
Se aprenden mejor los conceptos de Física y Química cuando se utilizan simuladores	71
Las actividades de investigación facilitan el aprendizaje los conceptos de Física y Química	92
La comunicación entre el profesor y los alumnos mejora cuando se realizan actividades de investigación con simuladores	58
El tiempo dedicado a la utilización de los simuladores ha sido adecuado	67
El tiempo dedicado a la utilización de los simuladores ha sido escaso	33
Las actividades de investigación realizadas han sido difíciles	20

**Tabla 61.** Opinión del alumnado acerca de las actividades de investigación realizadas con ayuda de los simuladores.

Algunas de las opiniones de los estudiantes sobre el uso de los simuladores en el aula, que aparecen con más frecuencia en sus respuestas al apartado de “opinión general sobre la experiencia” (ítem 11 del cuestionario) son las siguientes:

- Permite contrastar opiniones entre los compañeros.
- Hasta ahora nunca se habían utilizado en clase.
- Ayuda a comprender mejor la Física y sus conceptos mediante dibujos en movimiento.
- Así puedes contrastar lo que tú piensas con lo que pasa realmente.
- Aclara muchas ideas del sentido común.

- Es una forma divertida de aprender en grupo.

En cuanto a la valoración de la dificultad encontrada por los alumnos al realizar las actividades de investigación con los simuladores (ítem 9 del cuestionario), la Tabla 62 recoge la distribución porcentual del alumnado que destaca la dificultad en el desarrollo de cada una de las etapas del trabajo de investigación. La contrastación de hipótesis, el diseño experimental y la emisión de hipótesis constituyen las tres etapas más difíciles de la investigación, en opinión de los estudiantes.

<b>ETAPA MÁS DIFÍCIL DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>PORCENTAJE DE ALUMNOS (%)</b>
Emisión de hipótesis	25
Diseño experimental	28
Contrastación de hipótesis	31
Manejo del simulador	3
Trabajo en equipo	13

**Tabla 62.** Porcentaje de estudiantes que considera difícil el desarrollo de cada una de las etapas de la investigación.

Por último, el cuestionario de opinión recoge las propuestas de mejora del alumnado sobre la realización de actividades de investigación con simulador (ítem 10 del cuestionario), entre las que cabe destacar las siguientes:

- Uso individual de los ordenadores.
- Uso de distintos programas de simulación.
- Realización de las actividades en común.
- Corregir y explicar las actividades una por una.
- Incorporar hechos que puedan ocurrir en la realidad.

Los informes de investigación son elaborados por el alumnado que experimenta con los programas de simulación *Dinamic* e *Interactive Physics*, ya que no registran las hipótesis planteadas ni las conclusiones obtenidas.

Estos informes presentan un mismo formato, con la siguiente estructura (el entorno y el modelo de la simulación son establecidos por el profesor en función del problema a investigar):

- a. Programa de simulación con el que experimentar.
- b. Enunciado del problema a resolver.
- c. Hipótesis.
- d. Diseño experimental.
- e. Conclusiones y solución del problema.

El programa *Dinamic* sólo registra la actividad experimental desarrollada por el estudiante, mientras que *Interactive Physics* no permite registrar ningún dato.

En promedio, el alumnado lleva a cabo dos actividades de investigación con *Interactive Physics* en cada sesión de trabajo, con una duración de una hora.

En definitiva, el análisis de los informes de investigación elaborados por el alumnado permite detectar las dificultades encontradas cuando los estudiantes aplican la metodología hipotético-deductiva para resolver los problemas.

A continuación, se relacionan los **principales errores** cometidos por el alumnado durante las investigaciones:

- Determinados diseños experimentales no son exhaustivos, ya que omiten aquellas situaciones físicas que refutarían la hipótesis a contrastar.
- Algunos diseños experimentales no son coherentes con la hipótesis que pretenden probar.
- La interpretación de los fenómenos observados en el simulador no siempre es correcta, lo cual lleva en ocasiones a considerar probada una hipótesis falsa.

- A veces, los alumnos infieren unas conclusiones adecuadas tras haber interpretado correctamente las observaciones, pero o bien no son capaces de explicar lo ocurrido, o bien articulan una explicación inconsistente.

Las sesiones se llevan a cabo en la sala de ordenadores, a la que sólo asistían los alumnos para la asignatura optativa de Informática. Las clases de Física y Química hasta entonces siempre se habían impartido en el laboratorio. Esta novedad y el hecho de que los alumnos nunca habían trabajado la Física y Química con ordenador, posiblemente hayan propiciado el entusiasmo inicial de los estudiantes.

El ambiente distendido e informal presente en una actividad tan poco habitual en Física y Química, incita a que algunos alumnos se desplacen hasta los puestos de trabajo de otros compañeros para preguntarles o ayudarles. Las consultas y los comentarios entre los alumnos son frecuentes. Los alumnos que habitualmente no participan en las clases, consultan al profesor las dudas surgidas. Se detecta una mayor fluidez en la comunicación entre alumnos y profesor, favorecida por el hecho de que el profesor se desplaza continuamente por el aula supervisando el trabajo desarrollado por cada grupo de estudiantes. Esto conlleva una especial intensificación de la actividad del profesor durante las sesiones con los simuladores.

La buena predisposición de los estudiantes al trabajo en grupo facilita que la labor de indagación científica con los simuladores sean realizados en parejas constituidas libremente entre los alumnos.

Se detectó en el comportamiento y en los comentarios de algunos estudiantes una predisposición positiva hacia las actividades con simulador. Al final de algunas sesiones con ordenador, los alumnos proponían continuar durante la siguiente hora de clase y preguntaban con interés si continuarían la actividad al día siguiente.

Durante las sesiones, el profesor requirió eventualmente la atención de todos los estudiantes para aclarar las dudas planteadas reiteradamente por algunos de ellos, acerca del uso del programa o de la realización de cierta actividad de investigación. Esta labor no fue sencilla ya que los estudiantes tendían a continuar su trabajo con el ordenador o la conversación con sus compañeros.

Inicialmente, la mayoría de los estudiantes tuvieron dificultades para realizar las actividades de investigación requeridas, principalmente en el diseño de estrategias de contraste de hipótesis. Paradójicamente, algunos alumnos con expediente académico brillante mostraban ciertas reticencias hacia la experiencia, mientras que otros alumnos

con un expediente académico medio/bajo presentaban una actitud positiva inusitada en las clases tradicionales.

Aunque el profesor dedica cierto tiempo a la instalación en los ordenadores del programa informático que utilizarán los alumnos, con suficiente antelación a la sesión prevista, en ocasiones debido a que el aula de informática es visitada por distintos grupos de estudiantes a lo largo del día, los simuladores son borrados de algunos terminales. Por consiguiente, al inicio de algunas sesiones es preciso conectar mediante red local, aquellos ordenadores que no disponen del simulador en su disco duro, a los terminales que aún disponen de él.

Algunos estudiantes preguntan la solución del problema antes de ejecutar la simulación, por lo que el profesor les recuerda el objetivo de la actividad y la metodología científica a seguir.

Asimismo, el profesor insiste al grupo sobre la importancia de registrar por escrito las hipótesis a contrastar, el diseño experimental y las conclusiones obtenidas, cuando los trabajos de investigación son realizados con ayuda del programa *Interactive Physics*, ya que éste no deja *rastro* de la actividad del alumno. Estos informes de investigación son recogidos por el profesor al final de cada sesión y devueltos a los alumnos al inicio de la siguiente sesión para que puedan registrar su trabajo.

Algunas de las preguntas que con más frecuencia los alumnos plantean al profesor durante las sesiones de trabajo con los simuladores, son las siguientes:

- *¿Cómo se puede medir la variación de la velocidad de un objeto durante su caída?*
- *¿Cómo se puede simular con el programa informático un medio viscoso como el aceite o el vacío?*
- *¿Son equivalentes una situación física en la que un cuerpo no está sometido a ninguna fuerza y otra en la que un cuerpo está sometido a distintas fuerzas cuya resultante es nula?*
- *¿Por qué cuerpos con distinto peso caen a la vez en el vacío?*
- *¿Es necesario desactivar la gravedad ( $g = 0$ ) en el simulador para considerar la situación física de vacío?*

- *¿Cómo se definen las energías cinética y potencial?*
  
- *¿Por qué un cuerpo cayendo en un medio como aire o aceite mantiene una velocidad constante cuando ha transcurrido cierto tiempo?*
  
- *¿Por qué al lanzar dos objetos con la misma velocidad inicial hacia arriba en el aire, el más pesado alcanza más altura?*

Estas cuestiones son planteadas por algunos alumnos, por lo que el profesor las plantea al grupo, para ser tratadas entre todos, actuando como moderador de las intervenciones de los estudiantes y ofreciendo la solución cuando es necesario.

Durante las primeras experiencias, la mayoría de los alumnos desarrolla uno o dos diseños experimentales para contrastar sus hipótesis. Esto conduce, en ocasiones, a conclusiones precipitadas por la falta de sistematización en la comprobación de las hipótesis.

Algunos estudiantes elaboran sólo un diseño experimental, que aceptan como concluyente cuando casualmente confirma su hipótesis inicial, desestimando la posibilidad de realizar otros diseños. Asimismo, modifican variables que son poco relevantes para la resolución del problema en cuestión. Pocos estudiantes utilizan más de dos diseños experimentales para cada actividad de investigación.

Estos resultados son tenidos en cuenta posteriormente, de modo que en sesiones previas al uso de los simuladores, el alumnado se familiariza con la metodología hipotético-deductiva.

Los estudiantes registran hipótesis que pueden ser clasificadas en tres categorías:

- Hipótesis correctas.
  
- Hipótesis incorrectas, que mediante un diseño experimental adecuado y una interpretación correcta de los resultados ofrecidos por el simulador, son corregidas convenientemente en las conclusiones (por ejemplo: *un objeto cayendo en el vacío mantiene su velocidad constante*).
  
- Hipótesis incorrectas, que mediante un diseño experimental insuficiente o una interpretación incorrecta de los resultados ofrecidos por el simulador, son

consideradas como probadas en las conclusiones (por ejemplo: *un objeto cayendo en un medio viscoso, como aceite, mantiene su velocidad constante; un objeto que cae en aceite disminuye su velocidad de caída*).

En cuanto al diseño experimental elaborado por ciertos alumnos para contrastar sus hipótesis, se detectan algunos errores conceptuales, por ejemplo: el vacío es simulado en el programa *Mobile* como un medio físico con rozamiento y gravedad nulos; no se distingue entre el vacío y el aire, manteniendo para ambos un rozamiento nulo.

Asimismo, en ocasiones el diseño experimental establecido no es viable para contrastar la hipótesis propuesta, como sucede, por ejemplo, cuando algunos estudiantes consideran en su diseño una fuerza aplicada sobre el objeto estudiado, para probar la hipótesis de que "un cuerpo sin estar sometido a ninguna fuerza puede moverse si tuviera una velocidad inicial distinta de cero".

El registro informático de la actividad experimental que los alumnos desarrollan con el simulador *Mobile*, desvela los siguientes hábitos durante la experimentación:

- Algunos alumnos activan la visualización de todas las magnitudes vectoriales permitidas por el modelo de simulación, aún no siendo necesario para los fines de la investigación abordada.
- Pocos alumnos utilizan la opción "*paso a paso*" para observar detenidamente la evolución del fenómeno estudiado.
- Muy pocos estudiantes solicitan ayuda al programa, prefiriendo preguntar directamente al profesor o a otros compañeros.

El sonido de ambiente de dos sesiones de trabajo es grabado por el profesor.

La **primera grabación** de audio recoge las conversaciones mantenidas por el profesor con distintos alumnos mientras realizan la actividad de investigación con simulador, así como los comentarios que el profesor dirige al grupo para orientar su actuación. Inicialmente, el profesor recuerda a los estudiantes que la descripción del diseño experimental debe ser lo más precisa posible, indicando los valores asignados a las variables con objeto de contrastar las hipótesis planteadas. Este comentario pretende corregir la tendencia de algunos estudiantes que en sus anteriores informes de

investigación no explicitan el procedimiento seguido con el simulador para validar sus hipótesis.

Uno de los alumnos más participativos del grupo indica al profesor que uno de los problemas planteados para resolver con el simulador ya fue tratado en clase, por lo que conoce la solución y no necesita experimentar con el simulador. El profesor recuerda al estudiante que debe hacer uso del simulador para encontrar la solución al problema.

Otro alumno comunica sus dudas al profesor sobre el significado del término "pico de una gráfica", al que se alude en la actividad n° 22 (ver Anexo I). El profesor responde que la intención de la actividad es hacer reflexionar sobre la causa de que aparezcan cambios de la aceleración cada cierto tiempo, mientras la gráfica en tiempo real de velocidad-tiempo se mantiene invariante como una línea recta horizontal. El alumno replica que ha observado en el simulador un cambio en la dirección del vector velocidad de la pelota cuando choca contra las paredes del recinto cerrado, pero el módulo de la velocidad permanece constante, por lo que no entiende que la aceleración sea distinta de cero en el instante del choque. Para finalizar la conversación, el profesor recuerda al estudiante que la aceleración es una magnitud vectorial calculada a partir de la diferencia entre dos vectores velocidad medidos en distintos instantes de tiempo.

Algunos alumnos mantienen la creencia de que en el vacío no existe gravedad, por lo que al simular con el programa informático un recipiente sin aire, suelen asignar el valor nulo a la variable gravedad.

La investigación sobre las variables que influyen en el período de un péndulo (actividad n° 25 del Anexo I) revela ciertas dificultades de algunos estudiantes en el proceso de control de variables.

Una **segunda grabación** de audio es efectuada durante una sesión dedicada a la realización del pretest sobre conceptos de mecánica. Algunos alumnos plantean dudas al profesor acerca del enunciado de determinados problemas, con objeto de delimitar las situaciones físicas planteadas. Durante la realización del pretest, los estudiantes más participativos exponen al profesor y al resto del grupo sus explicaciones a determinadas cuestiones.

En conclusión, el principal problema abordado en este proyecto de innovación ha consistido en la validación en el aula de una estrategia didáctica basada en el aprendizaje mediante investigaciones dirigidas por el profesor y asistidas por

simuladores informáticos de fenómenos físicos, que facilitara la enseñanza de contenidos conceptuales, procedimientos y actitudes científicas en Bachillerato.

El alumnado del grupo de control ha seguido una metodología tradicional basada en la enseñanza por transmisión-recepción, mientras que los estudiantes de los grupos experimentales han realizado pequeños trabajos de investigación bajo la supervisión del profesor, siguiendo los procesos científicos propios del método hipotético-deductivo.

Los programas informáticos de simulación han sido utilizados por el alumnado como herramientas de experimentación e indagación: ocho simuladores han sido construidos en el entorno de *Interactive Physics* y otros dos han sido desarrollados en lenguaje *Delphi*.

Con objeto de diagnosticar las variables estudiadas, se ha registrado la actividad del alumnado en soportes de diversa índole (registro informático, grabación audio, cuaderno de campo) y se han aplicado instrumentos de medida procedentes de la bibliografía revisada, así como nuevos instrumentos elaborados *ex profeso* (un cuestionario sobre conceptos de mecánica newtoniana; un programa-guía de pequeños trabajos de investigación; una lista de control para evaluar el software empleado; un test sobre conocimiento de informática; y un cuestionario de opinión sobre las actividades realizadas).

A continuación se exponen las conclusiones que se derivan de la experiencia innovadora en relación con las hipótesis planteadas, los objetivos propuestos, la situación pre-instructiva del alumnado, la fase experimental y los resultados obtenidos.

Aunque inicialmente hemos pretendido comparar las conclusiones extraídas de nuestra investigación con las descritas en las referencias bibliográficas consultadas, sin embargo este análisis comparativo ha sido inviable debido a las diferencias existentes tanto en la muestra de alumnos considerada, como en el diseño experimental aplicado.

### **Conclusiones en relación con las hipótesis**

La enseñanza mediante trabajos de investigación con los simuladores frente a la enseñanza tradicional.

La muestra de alumnos estudiada permite detectar una diferencia significativa entre el conocimiento conceptual adquirido por los estudiantes que realizan trabajos de

investigación con un simulador de fenómenos físicos y los estudiantes que siguen una metodología transmisiva. Los primeros consiguen un conocimiento de los conceptos de mecánica newtoniana más próximo al conocimiento científico que los segundos. En cambio, el estudio realizado no detecta diferencias significativas entre estos alumnos con relación al conocimiento procedimental y actitudinal adquirido.

El aprendizaje con un programa de simulación desarrollado "a medida" frente al aprendizaje con un programa comercial.

Cuando los estudiantes se inician en la realización de trabajos de investigación y experimentan con el simulador tienden en ocasiones a modificar variables del fenómeno que no son relevantes para contrastar sus hipótesis.

Por tanto, los entornos informáticos de simulación más eficaces desde el punto de vista didáctico son aquéllos que implementan una diversidad suficiente de modelos físico-matemáticos, con distinto nivel de complejidad. Cada modelo implementado en el programa se corresponde con una determinada pantalla informativa para el estudiante, de manera que la secuencia de trabajos propuestos de investigación requiere que el alumno experimente con distintos modelos de dificultad progresiva.

El estudio realizado permite afirmar que los estudiantes experimentando con el programa *Mobile* mejoran su conocimiento de los conceptos de mecánica newtoniana significativamente más que cuando trabajan con el software comercial *Interactive Physics*.

Algunos alumnos reconocen ser incapaces de explicar ciertas observaciones efectuadas en la pantalla del ordenador que refutan sus hipótesis iniciales acerca del fenómeno investigado. En estas situaciones, los simuladores didácticos más eficaces son aquéllos que ofrecen al alumno distintos niveles de ayuda específica para cada trabajo de investigación que se aborde.

La investigación con simuladores permite evolucionar las ideas previas hacia las ideas científicas.

El conocimiento conceptual de mecánica newtoniana mejora significativamente tras la realización de los trabajos de investigación con ayuda de los simuladores. Asimismo, se detecta una mejora significativa en la respuesta de los estudiantes al 40 % de los ítems del cuestionario sobre conceptos de mecánica.

Se detecta una evolución en las categorías de respuesta dada por los alumnos a los ítems conceptuales, que difiere en función del nivel de conocimiento conceptual, procedimental y actitudinal del estudiante.

#### Influencia del nivel de razonamiento lógico sobre el aprendizaje por investigación mediante simuladores.

Aunque la muestra estudiada no permite inferir diferencias significativas en el aprendizaje de alumnos con distinta habilidad para el razonamiento lógico, los resultados experimentales indican que:

- a) Los alumnos con un nivel bajo de razonamiento lógico mejoran su conocimiento procedimental más que el resto del alumnado tras la realización de los trabajos de investigación con ayuda de simuladores.
- b) Los alumnos, tanto con un nivel bajo como alto de razonamiento lógico, mejoran su conocimiento conceptual más que el resto del alumnado, tras la realización de los trabajos de investigación con ayuda de simuladores.

#### Influencia del rendimiento académico del estudiante sobre el aprendizaje por investigación mediante simuladores

El rendimiento académico influye de distinto modo en el aprendizaje de los conceptos, procedimientos y actitudes. Así, los resultados experimentales muestran que:

- a) Los alumnos con un rendimiento académico medio mejoran su conocimiento conceptual más que el resto del alumnado. Sin embargo, la muestra estudiada no permite inferir que esta diferencia sea significativa. Además, se observa una correlación positiva entre el conocimiento conceptual alcanzado en la fase post-instruccional y el rendimiento académico.
- b) Los estudiantes con un rendimiento académico bajo mejoran su conocimiento procedimental más que el resto del alumnado. Aunque la muestra estudiada no permite inferir que esta diferencia sea significativa, en cambio sí se detecta una diferencia estadísticamente significativa en el conocimiento procedimental alcanzado por el alumnado, según su rendimiento académico, después de haber experimentado con los simuladores. Los estudiantes tanto con un rendimiento

académico bajo como alto son los que alcanzan un conocimiento procedimental superior.

- c) Se detectan diferencias significativas en la actitud hacia la ciencia para estudiantes con distinto rendimiento académico, después de haber experimentado con los simuladores: la actitud hacia la ciencia presenta una correlación positiva con el rendimiento académico.

#### Influencia del nivel de conocimiento informático del estudiante sobre el aprendizaje por investigación mediante simuladores.

El nivel conocimiento informático influye de distinto modo en el aprendizaje de los conceptos, procedimientos y actitudes. Así, los resultados experimentales apuntan que:

- a) Los alumnos con un nivel bajo y medio de conocimiento informático mejoran su conocimiento conceptual más que el resto del alumnado. Sin embargo, la muestra estudiada no permite inferir que esta diferencia sea significativa.
- b) Los alumnos con un nivel medio de conocimiento informático mejoran su conocimiento procedimental más que el resto del alumnado. Sin embargo, la muestra estudiada no permite inferir que esta diferencia sea significativa.
- c) Los alumnos con un nivel bajo de conocimiento informático mejoran su conocimiento actitudinal más que el resto del alumnado, tras la realización de los trabajos de investigación con ayuda de simuladores. Sin embargo, la muestra estudiada no permite inferir que esta diferencia sea significativa.

#### Los contenidos procedimentales y la realización de trabajos de investigación con simulador.

Se detecta una mejora significativa en el nivel de conocimiento procedimental tras la realización de trabajos de investigación con simulador. Asimismo, se detecta una mejora significativa en la respuesta dada por los estudiantes a una tercera parte de los ítems del test sobre procedimientos.

#### Los contenidos actitudinales y la realización de trabajos de investigación con simulador.

Aunque la actitud hacia la ciencia mejora tras la realización de los trabajos de investigación con simulador, esta diferencia no es estadísticamente significativa.

## **Conclusiones en relación con los objetivos**

### Desarrollo de software didáctico

Se han diseñado, desarrollado y validado dos programas informáticos de simulación de movimientos uni- y bi-dimensionales, fundamentados en la Didáctica de las Ciencias Experimentales y en la ingeniería de software didáctico:

- a) *Dinamic*: inicialmente se utilizó en el aula la versión para el sistema operativo DOS, generando el conocimiento necesario sobre las interacciones alumno-ordenador y alumno-profesor, que ha permitido implementar ciertas mejoras en la versión para Windows.
- b) *Mobile*: constituye una versión evolucionada del programa *Dinamic*, incorporando diversas medidas instruccionales que han sido probadas en el aula como elementos potenciadores de su eficacia didáctica.

Asimismo, se han desarrollado ocho simuladores de distintas situaciones físicas, ejecutables en el entorno informático *Interactive Physics*.

### Diseño de actividades de investigación con simulador

Se han elaborado distintas actividades de investigación adaptadas a cada uno de los simuladores desarrollados. Asimismo, para cada uno de los trabajos de investigación a realizar con el programa *Mobile*, tres mensajes con un nivel progresivo de ayuda han sido implementados en la base de datos del programa, con objeto de orientar al alumnado en su labor investigadora.

### Aprendizaje cooperativo

Las observaciones de aula y las grabaciones de audio constatan que la realización de trabajos de investigación con ayuda de los simuladores estimula y potencia el aprendizaje cooperativo entre los estudiantes.

### La simulación por ordenador como una herramienta científica

Los estudiantes de Bachillerato no sólo se han aproximado a la actividad de los científicos mediante la realización de pequeños trabajos de investigación dirigida, sino que también han aplicado para ello una de las herramientas fundamentales para la investigación y la experimentación en la cultura científica actual, como es la simulación por ordenador de fenómenos físicos.

### Diseño de instrumentos de medida

Se han diseñado dos nuevos instrumentos de diagnóstico:

- a) Un cuestionario exploratorio de respuesta abierta que permite detectar las ideas intuitivas del alumnado de Bachillerato sobre conceptos de mecánica newtoniana. Un proceso de validación del test constató la validez y la fiabilidad de sus ítems para detectar los esquemas alternativos del alumnado.
- b) Una lista de control para que el profesorado de Física y Química evalúe los distintos aspectos del software didáctico empleado en la investigación. Este cuestionario fue sometido a un proceso de validación que constató su validez y fiabilidad como instrumento de evaluación de software educativo.

### **Conclusiones en relación con la fase pre-instruccional**

Las ideas previas detectadas en la fase pre-instruccional coinciden a grandes rasgos con las descritas en bibliografía.

Se detectan correlaciones estadísticamente significativas entre las siguientes variables:

- a) El nivel de conocimiento conceptual y la habilidad para el razonamiento lógico ( $\rho = 0,261$ ).
- b) Los niveles de conocimiento procedimental y actitudinal ( $\rho = 0,511$ ).

Asimismo, se detectan diferencias significativas en la actitud hacia la ciencia mantenida por alumnos con distinto rendimiento académico. El alumnado con mejor rendimiento académico mantiene una actitud más positiva hacia la ciencia.

Del análisis multivariante de las respuestas dadas a los cuestionarios sobre creencias acerca de la ciencia, se infiere dos categorías de posicionamiento epistemológico en los alumnos:

- a) Un enfoque inductivista y positivista de la ciencia, según el cual, *el origen del conocimiento científico reside en los hechos y datos obtenidos de los experimentos; los modelos científicos son copias exactas de la realidad; las clasificaciones reflejan la naturaleza tal como es; los contactos sociales no influyen sobre el trabajo científico.*
- b) Un enfoque constructivista de la ciencia, próximo al pensamiento científico genuino, para el que *los modelos científicos son metáforas útiles para comprender la realidad; existen diversas formas correctas de clasificar la naturaleza; los contactos sociales pueden influir sobre el trabajo científico.*

### **Conclusiones en relación con la fase instruccional**

El análisis de los documentos generados por el alumnado (informes de investigación y registros informáticos), así como del cuaderno de observaciones del profesorado, permite detectar ciertas dificultades que los estudiantes encuentran durante el desarrollo de los trabajos de investigación y que les conducen eventualmente a cometer los siguientes errores:

- a) Determinados diseños experimentales no son exhaustivos, ya que omiten aquellas situaciones físicas que refutarían la hipótesis a contrastar.
- b) Algunos diseños experimentales no son coherentes con la hipótesis que pretenden probar.
- c) Los fenómenos observados en el simulador son malinterpretados, en ocasiones, lo que lleva al estudiante a considerar probada una hipótesis falsa.
- d) En otros casos, algunos alumnos infieren unas conclusiones adecuadas tras haber interpretado correctamente las observaciones, pero o bien reconocen ser incapaces de explicar lo ocurrido, o bien articulan una explicación inconsistente.

### **Conclusiones en relación con la fase post-instruccional**

La metodología basada en la realización de trabajos de investigación con ayuda de los simuladores, propicia la evolución de las creencias científicas del alumnado hacia un planteamiento más próximo al pensamiento científico. Así, se observa un incremento notable del porcentaje de alumnos que:

- Reconoce necesario recopilar otros datos distintos a los ofrecidos por el problema abordado (35 % en el pretest y 80 % en el postest).
- Concibe el pensamiento sobre la realidad como punto de partida del conocimiento científico, ya que permite la elaboración de modelos (20 % en el pretest y 50 % en el postest).
- Considera como objetivo de la Ciencia crear modelos que ayuden a la comprensión de los fenómenos naturales (80 % en el pretest y 100 % en el postest).
- Asume los modelos como medios útiles para aprender y explicar (35 % en el pretest y 70 % en el postest).

Sin embargo, la mitad del alumnado sigue manteniendo una concepción del modelo como copia exacta de la realidad.

La puntuación mínima obtenida por los alumnos en los cuestionarios sobre conceptos de mecánica y sobre procedimientos científicos aumenta considerablemente tras la realización de los trabajos de investigación, mientras que la dispersión de las puntuaciones disminuye.

- a) Un 26 % del alumnado obtiene una puntuación menor o igual que 5 en el pretest conceptual, mientras que la puntuación mínima obtenida en el postest es de 6 puntos.
- b) Un 30 % del alumnado obtiene una puntuación menor que 5 en el pretest procedimental, mientras que la puntuación mínima obtenida en el postest es de 5 puntos.

El conocimiento conceptual pre-instruccional correlaciona significativamente con el conocimiento conceptual post-instruccional.

Los alumnos sostienen mayoritariamente opiniones favorables a la realización de actividades de investigación con ayuda de simuladores.

## **6. Productos**

### **6.1. Cuestionarios de diagnóstico**

Las variables consideradas relevantes, tanto para contrastar las hipótesis de la innovación como para evaluar la consecución de los objetivos planteados, deben ser medidas mediante instrumentos que reúnan la suficiente fiabilidad y validez.

La literatura científica aporta distintos instrumentos fiables para diagnosticar el nivel de conocimiento procedimental y actitudinal en ciencia así como de razonamiento lógico en estudiantes de educación secundaria.

Sin embargo, sólo aquellos instrumentos que hayan sido validados en un contexto escolar semejante a la muestra de esta investigación pueden garantizar unas medidas adecuadas de las variables estudiadas. Esta condición se verifica en los tests documentados en bibliografía que son aplicados en el proyecto de innovación:

- Test de opción múltiple sobre procedimientos científicos TIPS de Dillashaw y Okey (Anexo XI).
- Test de escala Likert sobre la actitud hacia la ciencia de Penichet y Mato (Anexo V).
- Test de opción múltiple sobre razonamiento lógico de Acevedo y Oliva (Anexo XII).

En cambio, no ha sido encontrado en la bibliografía un cuestionario de respuesta abierta para diagnosticar el conocimiento de los alumnos sobre los conceptos de mecánica newtoniana tratados en esta experiencia de innovación. Esta circunstancia ha conducido al equipo de trabajo a diseñar un test sobre conceptos de mecánica clásica.

Asimismo, con objeto de que los profesores de Física y Química evalúen el software didáctico utilizado, se ha elaborado un cuestionario sobre sus cualidades didácticas (ver

Anexo III), ya que las listas de control propuestas en la bibliografía revisada no se adaptan suficientemente a los programas informáticos utilizados en la investigación.

Por otra parte, puesto que la resolución de problemas constituye el eje central del modelo didáctico asumido, es decir, de la enseñanza mediante investigación dirigida por el profesor, es necesario que las situaciones problemáticas planteadas en el aula sean cuidadosamente diseñadas, con el fin de evitar la frustración en los estudiantes ante los obstáculos conceptuales y procedimentales.

Uno de los criterios de diseño de las actividades de investigación es su adaptación a un determinado simulador didáctico, con el que los alumnos experimentarán para resolver la situación problemática.

Las actividades a investigar mediante la experimentación con el simulador *Mobile* se encuentran integradas en la base de datos del programa informático.

### **6.1.1. Test exploratorio sobre conceptos de mecánica**

El cuestionario sobre conceptos de mecánica newtoniana (ver Anexo II) es considerado el instrumento de medida de la variable “conocimiento conceptual” y está constituido por 22 cuestiones de respuesta abierta, cuyo ámbito científico se muestra en la Tabla 5. Las respuestas dadas por los estudiantes permiten inferir sus ideas previas y el grado de comprensión de los principales conceptos de cinemática y dinámica del punto material. La puntuación del test se corresponde con el número de ítems respondidos correctamente.

La Tabla 63 recoge las ideas alternativas más frecuentes en los estudiantes de educación secundaria, acerca de la situación física planteada en cada uno de los ítems, según la bibliografía consultada (Clement<sup>56</sup>, 1982; McCloskey<sup>57</sup>, 1983; Sebastián<sup>58</sup>, 1984; Pozo<sup>59</sup>, 1987; Acevedo<sup>60</sup>, 1989; Hierrezuelo y Montero<sup>8</sup>, 1991; Carrascosa y Gil<sup>61</sup>, 1992; Viennot<sup>62</sup>, 1996).

---

<sup>56</sup> Clement, J. (1982). Student preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, 50 (1), 66-71.

<sup>57</sup> McCloskey, M. (1983). Intuitive Physics. *Scientific American*, 248, 122-130.

<sup>58</sup> Sebastián, J.M. (1984). Fuerza y movimiento: la interpretación de los estudiantes. *Enseñanza de las Ciencias*, 2(3), 161-169.

<sup>59</sup> Pozo, J.I. (1987). *Aprendizaje de las ciencias y pensamiento causal*. Madrid: Visor.

<sup>60</sup> Acevedo, J.A. (1989). Comprensión newtoniana de la caída de cuerpos. Un estudio de su evolución en el Bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias*, 7(3), 241-246.

DOMINIO CIENTÍFICO	IDEAS ALTERNATIVAS ASOCIADAS	ITEMS DEL TEST
Fuerza y movimiento	Todo cuerpo en movimiento lleva asociado una fuerza	1, 3, 5, 6, 22
	El movimiento se produce siempre en la dirección y sentido de la fuerza	13
	La fuerza que lleva un objeto en movimiento se agota paulatinamente	5
	Si un cuerpo se mueve y sobre él no actúa ninguna fuerza, pierde paulatinamente su velocidad	2
Movimiento Oblicuo	La componente horizontal influye en el tiempo de caída. No disocian el movimiento vertical del horizontal.	4
	Ignoran una de las componentes del movimiento	16, 18, 20
	La masa de un cuerpo influye en el alcance y trayectoria de movimientos oblicuos bajo la acción de la gravedad.	16, 18, 20
Velocidad	Cuando un objeto se abandona desde otro móvil pierde automáticamente su velocidad.	16, 18, 20
	El reposo, el movimiento y la velocidad tienen carácter absoluto y no relativo.	16, 18, 20
Representación gráfica de fuerzas y trayectorias	Dificultad para dibujar trayectorias, fuerzas y representar el punto de aplicación	5, 6, 7, 8, 15, 17, 19, 21
Peso y gravedad	El peso depende del estado de movimiento.	6
	No existe gravedad cuando no hay atmósfera.	8, 9
Caída libre de graves	Cuanto mayor sea la masa del objeto antes llegará al suelo.	11
	La velocidad de caída es constante.	14
	El tiempo de caída depende de la densidad.	11
Aceleración	Confusión entre velocidad y aceleración.	12
	No se consideran aceleraciones negativas	4
Fuerza y aceleración	Confusión entre fuerza y aceleración	10

**Tabla 63.** Relación entre los ítems del test conceptual y las ideas alternativas más comunes sobre mecánica clásica en los estudiantes.

Siguiendo el mismo procedimiento que Acevedo y Oliva (1995), la validación del test conceptual se basa en los siguientes estudios estadísticos:

- a) *Fiabilidad como consistencia interna* por el procedimiento de las dos mitades (ítems pares e impares), obteniendo un coeficiente de Spearman-Brown de 0,38, lo que indica la existencia de una moderada estabilidad de los resultados del test.
- b) *Validez interna de construcción*, mediante la correlación entre sí de los ítems y el análisis factorial por el método de los componentes principales. Las Tablas 64, 65 y 66 muestran los coeficientes de correlación de Pearson entre los ítems del test, de los que un 31 % indican una correlación significativa.

<sup>61</sup> Carrascosa, J. y Gil, D. (1992). Concepciones alternativas en mecánica. Dinámica: las fuerzas como causa del movimiento. Selección de cuestiones elaboradas para su detección y tratamiento. *Enseñanza de las Ciencias*, 10(3), 314-328.

ITEM	2	3	4	5	6	7
1	0,761**	0,143	0,077	0,295**	0,249*	0,305**
2		0,164	0,049	0,320**	0,294**	0,377**
3			0,242*	0,175	0,023	- 0,082
4				0,060	- 0,051	- 0,084
5					0,384**	0,311**
6						0,409**

\* p < 0,05      \*\* p < 0,01

ITEM	8	9	10	11	12	13
1	- 0,188	- 0,031	0,329**	0,102	0,179	- 0,017
2	- 0,166	- 0,151	0,386**	0,253*	0,182	0,036
3	- 0,112	- 0,171	0,230*	- 0,015	0,165	0,101
4	- 0,159	- 0,075	0,333**	- 0,046	0,010	- 0,011
5	- 0,258*	- 0,111	0,287**	0,015	- 0,040	0,056
6	0,014	- 0,045	0,222*	0,277**	0,224*	0,152

**Tabla 64.** Coeficientes de correlación de Pearson entre items del Test sobre conceptos.

ITEM	14	15	16	17	18	19
1	- 0,112	0,212*	0,035	0,029	0,031	0,095
2	0,017	0,187	0,015	0,059	- 0,108	0,086
3	0,012	0,118	0,218*	0,112	0,272**	0,250*
4	- 0,028	- 0,132	- 0,104	- 0,052	0,046	- 0,131

<sup>62</sup> Viennot, L. (1996). *Raisonnement en physique. La part du sens commun*. Bruxelles : De Boeck Université.

<b>5</b>	- 0,039	- 0,053	0,032	0,046	0,092	0,192*
<b>6</b>	- 0,102	0,194*	- 0,041	0,051	0	0,186

\* p < 0,05      \*\* p < 0,01

ITEM	20	21	22
<b>1</b>	0,013	0,081	0,314**
<b>2</b>	- 0,093	0,039	0,228*
<b>3</b>	0,049	- 0,097	0,167
<b>4</b>	- 0,093	- 0,176	0,078
<b>5</b>	0,161	0,193*	0,123
<b>6</b>	0,108	0,246*	0,129

ITEM	20	21	22
<b>7</b>	- 0,034	0,028	- 0,048
<b>8</b>	- 0,023	0,123	- 0,245*
<b>9</b>	0,009	0,103	- 0,111
<b>10</b>	- 0,071	- 0,108	0,222*
<b>11</b>	- 0,008	0,131	- 0,033
<b>12</b>	0,169	0,288**	0,155

ITEM	8	9	10	11	12	13
<b>7</b>	0,076	- 0,020	0,250*	0,138	- 0,084	- 0,040
<b>8</b>		0,787**	- 0,298**	0,333**	0,122	0,103
<b>9</b>			- 0,171	0,083	- 0,050	0,063
<b>10</b>				0,147	0,095	0,127
<b>11</b>					0,632**	0,010
<b>12</b>						- 0,087

**Tabla 65.** Coeficientes de correlación de Pearson entre items del Test sobre conceptos.

ITEM	14	15	16	17	18	19
<b>7</b>	0,258*	0,373**	0,039	0,084	- 0,185	- 0,050
<b>8</b>	0,130	- 0,026	0,266*	0,159	- 0,076	0,105
<b>9</b>	0,011	- 0,054	0,172	0,075	- 0,031	0,017
<b>10</b>	- 0,051	0,200*	- 0,138	- 0,046	0,017	- 0,023
<b>11</b>	0,256*	0,032	0,201*	0,235*	0,018	0,190*

<b>12</b>	0,103	0,140	0,252*	0,215*	0,210*	0,307**
<b>ITEM</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>
<b>13</b>	0,235*	0,143	0,034	0,069	0,017	0,169
<b>14</b>		0,211*	0,136	0,239*	0	0,121
<b>15</b>			0,185	0,237*	- 0,030	- 0,029
<b>16</b>				0,843**	0,351**	0,335**
<b>17</b>					0,258*	0,308**
<b>18</b>						0,730**

<b>ITEM</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>
<b>13</b>	0,005	0,055	0,152
<b>14</b>	- 0,011	- 0,016	- 0,102
<b>15</b>	0,035	- 0,037	0,194*
<b>16</b>	0,350**	0,230*	0,089
<b>17</b>	0,233*	0,101	0,116
<b>18</b>	0,787**	0,540**	0,298**

<b>ITEM</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>
<b>19</b>	0,579**	0,666*	0,186
<b>20</b>		0,707**	0,280**
<b>21</b>			0,154

\* p < 0,05      \*\* p < 0,01

**Tabla 66.** Coeficientes de correlación de Pearson entre ítems del Test sobre conceptos.

Un análisis factorial llevado a cabo mediante el *método de los componentes principales*<sup>63</sup> revela una serie de propiedades semejantes a las identificadas por Oliva (1994) en la validación de un cuestionario sobre ideas previas en mecánica.

El análisis de componentes principales permite inferir la existencia de ocho factores que explican un 74 % de la varianza total de las respuestas al test. Si este análisis se limita a un solo factor, la proporción de varianza explicada se reduce a un 18 %, lo cual podría ser interpretado en clave de incoherencia del nivel conceptual inicial de los estudiantes. Por otra parte, considerando ocho factores se consigue explicar tan sólo un 74 % de la varianza total, cuando teóricamente cabría esperar un porcentaje superior si se tiene en cuenta que los dominios científicos a los que refieren los ítems son también ocho.

<sup>63</sup> García Jiménez, E., Gil Flores, J. y Rodríguez Gómez, G. (2000). *Análisis Factorial*. Cuadernos de Estadística, nº 7. Madrid: Editorial La Muralla.

### 6.1.2. Lista de control para evaluar software educativo

Un cuestionario diseñado por el coordinador del proyecto constituye el instrumento que junto con las observaciones de aula permiten evaluar y validar los programas de simulación empleados en la investigación (ver Anexo III).

El test trata de evaluar, a través de 21 ítems de respuesta múltiple y cuatro de respuesta abierta (22, 23, 24 y 25), las siguientes características del software (Tabla 67): el contenido presentado; el tratamiento didáctico del contenido; las situaciones de aprendizaje generadas en el aula; la capacidad de adaptación del programa al estudiante así como de registrar información sobre éste que facilite al profesor la evaluación de su actividad.

ASPECTOS VALORADOS	ÍTEM DEL TEST
Contenido	1, 2, 3, 13, 14
Enfoque didáctico	4, 5, 6, 7, 10, 16, 24
Aplicación en el aula	8, 12, 17, 18, 20, 21, 25
Adaptación al estudiante	11, 15, 19
Instrumento de evaluación	9
Valoración general	22, 23

**Tabla 67.** Características del software evaluadas mediante los ítems de la lista de control.

El cuestionario de evaluación del software es cumplimentado por once profesores de Física y Química de educación secundaria de la comarca del poniente almeriense.

Los programas didácticos evaluados por los profesores mediante este cuestionario, después de haber dedicado varias sesiones a su manejo, son *Mobile* e *Interactive Physics*.

Los ítems de respuesta múltiple plantean cuestiones positivas acerca del programa evaluado, admitiendo las siguientes respuestas: *muy de acuerdo*, *de acuerdo*, *en desacuerdo* y *muy en desacuerdo*. Se decide asignar a cada respuesta la siguiente puntuación: *muy de acuerdo* se valora con tres puntos, *de acuerdo* con dos puntos, *en desacuerdo* con un punto y *muy en desacuerdo* ningún punto.

La validación de la lista de control se basa en los siguientes estudios estadísticos:

- a) *Fiabilidad como consistencia interna* por el procedimiento de las dos mitades (ítems pares e impares), determinando a continuación el coeficiente de Spearman-Brown.

El cuestionario de evaluación aplicado al programa *Mobile* presenta un coeficiente de fiabilidad de 0,8692, lo que garantiza la consistencia interna del cuestionario. Asimismo, el coeficiente de Spearman-Brown para los ítems correspondientes a cada uno de los aspectos valorados es mostrado en la tabla 68.

	<b>Interactive Physics</b>	<b>Mobile</b>
<b>Contenido</b>	0,7464	0,8333
<b>Enfoque didáctico</b>	0,9061	0,7478
<b>Aplicación en el aula</b>	0,6521	0,7500
<b>Adaptación al estudiante</b>	0,6070	0,8014

**Tabla 68.** Coeficientes de Spearman-Brown asociados a los aspectos valorados en el cuestionario de evaluación.

- b) *Validez interna de construcción*, mediante la correlación entre sí de los ítems. Una primera prueba empírica de la validez del cuestionario de evaluación del software se deriva de la matriz de correlaciones entre los cinco aspectos valorados, para *Mobile* (ver tabla 69) y para *Interactive Physics* (ver tabla 70).

En el caso del programa *Mobile*, los coeficientes de correlación están comprendidos entre 0,465 y 0,863 salvo el correspondiente a la correlación entre “contenido” e “instrumento de evaluación” cuyo valor es 0,158. Por consiguiente, se puede inferir la existencia de una importante relación entre los distintos aspectos valorados en el cuestionario, excepto entre los dos anteriores.

	<b>Contenido</b>	<b>Enfoque didáctico</b>	<b>Aplicación en el aula</b>	<b>Adaptación al estudiante</b>	<b>Instrumento de evaluación</b>
<b>Contenido</b>	1,00				
<b>Enfoque didáctico</b>	0,670	1,00			
<b>Aplicación en el aula</b>	0,632	0,594	1,00		
<b>Adaptación al estudiante</b>	0,738	0,863	0,674	1,00	
<b>Instrumento de evaluación</b>	0,158	0,465	0,750	0,539	1,00

**Tabla 69.** Matriz de correlaciones entre los cinco aspectos valorados en el cuestionario de evaluación aplicado al programa *Mobile*.

Los coeficientes de correlación en la evaluación de *Interactive Physics* están comprendidos entre 0,204 y 0,830, salvo el correspondiente a la correlación entre

“contenido” y “adaptación al estudiante”, cuyo coeficiente es  $- 0,045$ . En consecuencia, de nuevo se puede inferir la existencia de una notable relación entre los distintos aspectos valorados en el cuestionario, excepto para los dos anteriores.

	Contenido	Enfoque didáctico	Aplicación en el aula	Adaptación al estudiante	Instrumento de evaluación
Contenido	1,00				
Enfoque didáctico	0,544	1,00			
Aplicación en el aula	0,362	0,830	1,00		
Adaptación al estudiante	- 0,045	0,204	0,507	1,00	
Instrumento de evaluación	0,674	0,706	0,645	- 0,270	1,00

**Tabla 70.** Matriz de correlaciones entre los cinco aspectos valorados en el cuestionario de evaluación aplicado al programa *Interactive Physics*.

Asimismo, en la búsqueda de pruebas que evidencien la validez de construcción del cuestionario, se ha llevado a cabo un análisis factorial mediante el método de los componentes principales.

En la evaluación de *Interactive Physics*, los dos primeros factores explican el 65 % de la varianza común de las puntuaciones globales obtenidas en el cuestionario.

La Tabla 71 muestra los pesos correspondientes a cada ítem con relación a los componentes principales.

ÍTEM	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3	FACTOR 4	FACTOR 5
1	0,859	- 0,448	0,137	0,176	- 0,104
2	0,482	0,457	0,467	- 0,389	- 0,435
3	- 0,340	0,687	0,572	0,230	0,179
4	0,418	0,663	- 0,266	- 0,384	- 0,409
5	0,859	- 0,448	0,137	0,176	- 0,104
6	0,774	- 0,190	- 0,578	0,149	- 0,01
7	0,917	0,373	0,08	- 0,04	0,116
8	0,178	- 0,173	- 0,747	0,594	- 0,168
9	0,608	0,614	-0,05	0,491	0,1
10	0,608	0,614	-0,05	0,491	0,1
11	0,357	- 0,881	0,168	- 0,200	- 0,170
12	0,919	0,03	0,066	0,387	- 0,018
13	0,263	0,905	- 0,043	- 0,223	0,245
15	0,199	- 0,733	0,417	- 0,028	0,499
16	0,604	0,218	- 0,616	- 0,453	0,066
17	0,859	- 0,448	0,137	0,176	- 0,104
18	0,369	- 0,042	- 0,449	- 0,199	0,788
19	0,812	- 0,036	0,170	- 0,551	0,082
20	0,812	- 0,036	0,170	- 0,551	0,08
21	0,519	0,239	0,709	0,406	0,075

**Tabla 71.** Análisis factorial de los datos del cuestionario de evaluación aplicado a *Interactive Physics*: Pesos de la matriz factorial.

Por otra parte, si se analizan las puntuaciones de cada uno de los aspectos valorados se obtiene que dos componentes explican un 86 % de la varianza total de las puntuaciones.

La Tabla 72 muestra los pesos correspondientes a cada uno de los aspectos valorados con relación a las componentes principales.

	FACTOR 1	FACTOR 2
<b>Contenido</b>	0,725	-0,352
<b>Enfoque didáctico</b>	0,922	0,1
<b>Aplicación en el aula</b>	0,875	0,407
<b>Adaptación al estudiante</b>	0,191	0,946
<b>Instrumento de evaluación</b>	0,861	-0,430

**Tabla 72.** Análisis factorial de los datos del cuestionario de evaluación aplicado al programa *Interactive Physics*: Cargas de la matriz factorial.

En cuanto al análisis factorial por componentes principales aplicado a la evaluación del programa *Mobile*, los tres primeros factores extraídos explican el 76 % de la varianza común de las puntuaciones globales obtenidas en el cuestionario. La Tabla 73 muestra los pesos correspondientes a cada ítem con relación a los componentes principales.

ÍTEM	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3	FACTOR 4	FACTOR 5
1	0,852	- 0,325	- 0,026	- 0,088	0,334
2	0,697	0,510	0,379	- 0,086	0,185
3	0,052	0,134	0,919	0,306	0,136
4	0,642	0,494	- 0,273	- 0,036	0,212
5	0,543	- 0,541	- 0,414	- 0,436	0,160
6	0,565	- 0,415	0,408	- 0,541	- 0,073
7	0,565	- 0,312	- 0,116	0,566	- 0,205
8	0,663	0,395	- 0,415	0,034	0,314
9	0,668	0,136	- 0,599	0,417	- 0,065
10	0,791	- 0,476	0,220	0,077	- 0,153
11	0,852	- 0,325	- 0,026	- 0,088	0,334
12	0,471	0,629	- 0,104	- 0,223	- 0,525
13	0,267	0,626	0,614	- 0,275	0,045
14	0,791	- 0,476	0,220	0,077	- 0,153
15	0,487	- 0,394	0,464	0,532	- 0,268
16	0,697	0,510	0,379	- 0,087	0,185
17	0,668	0,136	- 0,599	0,417	-0,065
18	0,041	0,075	0,516	0,604	0,354
19	0,971	0,075	- 0,079	- 0,197	- 0,011
20	0,362	0,768	- 0,118	0,178	- 0,329
21	0,818	- 0,115	0,231	- 0,220	- 0,462

**Tabla 73.** Análisis factorial de los datos del cuestionario de evaluación aplicado a *Mobile*: Pesos de la matriz factorial.

Por otra parte, si se analizan las puntuaciones de cada uno de los aspectos valorados, se obtiene que un componente explica un 70 % de la varianza total de las puntuaciones. La Tabla 74 muestra los pesos correspondientes a cada uno de los aspectos valorados con relación al componente principal.

	FACTOR 1
<b>Contenido</b>	0,783
<b>Enfoque didáctico</b>	0,875
<b>Aplicación en el aula</b>	0,872
<b>Adaptación al estudiante</b>	0,928
<b>Instrumento de evaluación</b>	0,683

**Tabla 74.** Análisis factorial de los datos del cuestionario de evaluación aplicado al programa *Mobile*: Cargas de la matriz factorial.

En definitiva, los resultados expuestos sugieren que el cuestionario diseñado para la evaluación del software educativo constituye un instrumento adecuado para esta tarea, con una suficiente consistencia y validez internas.

### 6.1.3. Actividades de investigación

Las actividades de investigación diseñadas (ver Anexo I) plantean situaciones problemáticas que involucran conceptos de mecánica newtoniana de Bachillerato, cuya resolución por los estudiantes como pequeños trabajos de investigación dirigida, requiere la aplicación de distintos procedimientos científicos.

Los diversos contenidos conceptuales implicados en las actividades son mostrados en la Tabla 75.

CONTENIDO CONCEPTUAL	ACTIVIDADES
Relación entre fuerza y movimiento	1, 2, 3, 4, 9, 29
Influencia de la masa sobre el movimiento de graves	15, 16, 18, 19, 20,
Influencia del rozamiento sobre el movimiento de graves	11, 12, 13, 14, 16, 20,
Relación entre fuerza y aceleración	13, 18
Influencia de la componente horizontal de la velocidad sobre el tiempo de caída	7, 8
Influencia de la masa, el ángulo y la gravedad sobre el alcance en un movimiento oblicuo	21
Conservación de la energía	20, 23, 24
Relación entre espacio, tiempo y velocidad	25, 27, 28, 32, 33, 34
Relación entre velocidad y aceleración	5, 6, 10, 18, 22, 35, 36, 37
La interacción gravitatoria es independiente del medio	10
Influencia de la gravedad sobre el movimiento de graves	15
Identificación de las fuerzas aplicadas sobre un cuerpo	10, 11, 30, 31
Movimiento bajo la acción de la gravedad de un objeto abandonado desde otro móvil	26

**Tabla 75.** Conceptos de mecánica implicados en las actividades de investigación.

En cuanto al conocimiento procedimental, las actividades de investigación mediante simulación por ordenador pretenden enseñar los siguientes procedimientos, pertenecientes a la clasificación establecida por de Pro<sup>64</sup> (1998):

<sup>64</sup> Pro, A. de (1998) ¿Se pueden enseñar contenidos procedimentales en las clases de ciencias? *Enseñanza de las Ciencias*, 16(1), 21-41.

- Identificación y delimitación del problema.
- Elaboración de hipótesis contrastables a partir de un marco teórico y deducción de predicciones a partir de las experiencias con el simulador didáctico.
- Identificación de las variables relevantes (dependientes e independientes), establecimiento de procesos de control y exclusión de variables y construcción de relaciones de dependencia entre éstas, tanto cualitativas como cuantitativas.
- Selección de diseños experimentales adecuados en el entorno de simulación para contrastar una hipótesis y establecimiento de una estrategia de resolución del problema planteado.
- Descripción de las observaciones y situaciones generadas por el simulador, representación esquemática de una observación, identificación de las propiedades de los objetos presentes en la simulación y registro cualitativo de los datos experimentales producidos por el simulador.
- Utilización de estrategias básicas para la resolución de problemas.
- Interpretación de gráficas, representaciones vectoriales, datos numéricos y observaciones, así como representación y extrapolación de datos.
- Análisis de datos.
- Utilización de modelos con distinto nivel de complejidad.
- Elaboración de conclusiones.
- Manejo del simulador.
- Análisis de la documentación proporcionada por el simulador *Mobile* como ayuda al proceso de investigación.
- Elaboración de un informe descriptivo sobre las experiencias realizadas: este informe está integrado en el entorno informático.

#### 6.1.4. Programas informáticos

Los programas informáticos utilizados por los estudiantes como *laboratorio virtual* han sido *Dinamic*, *Mobile* e *Interactive Physics*. Los dos primeros constituyen entornos cerrados que simulan el movimiento de una bola en un recinto rectangular bajo la acción de fuerzas de diversa naturaleza. El tercer programa es un entorno abierto en el que se diseñan y simulan distintos *micromundos* que simulan el movimiento de objetos sometidos a las leyes de la mecánica newtoniana.

En *Dinamic* y *Mobile*, el estudiante define las magnitudes físicas relevantes para el estudio del movimiento. Ambos simuladores visualizan en la pantalla la información sobre el móvil que necesita el alumno para lograr un aprendizaje significativo de la mecánica newtoniana: gráficas en tiempo real de la posición, la velocidad y la aceleración frente al tiempo; representaciones vectoriales de la velocidad, peso, fuerza de rozamiento, fuerza externa aplicada y vector de posición; línea de la trayectoria. Además, ambos programas ofrecen ayuda sensible al contexto. Las acciones llevadas a cabo con los simuladores son registradas en el disco duro del ordenador, para que posteriormente el profesor pueda evaluar la actividad de cada alumno.

En *Interactive Physics*, el alumno define las características ambientales del *micromundo* (gravedad, rozamiento, campos de fuerza, etc.) así como el número y las propiedades de los objetos (posición y velocidad iniciales, masa, tamaño, densidad, carga eléctrica, etc).

Estos objetos pueden ser de diversa naturaleza: cuerpo de forma circular, rectangular o irregular; muelle; hilo; amortiguador; motor; sistema de poleas, etc. Además, se puede visualizar gráfica o numéricamente los valores de las propiedades de los objetos, así como modificarlos mediante los correspondientes elementos de control.

A continuación se describen detalladamente las características de cada uno de estos programas didácticos, los objetivos pedagógicos perseguidos así como su proceso de creación.

### DINAMIC

#### Antecedentes

La versión del simulador *Dinamic* utilizada por los estudiantes es ejecutable bajo los sistemas operativos Windows 95 y sus evoluciones posteriores. Asumiendo los mismos objetivos didácticos e implementando un modelo físico-matemático idéntico, el programa *Dinamic* bajo Windows es heredero de una primera versión sólo ejecutable

bajo el sistema operativo MS-DOS (Sierra<sup>65</sup>, 1997). Esta primera versión de *Dinamic* surge como un intento de aprovechar con fines didácticos tanto la capacidad del ordenador para generar y tratar imágenes dinámicas, como la flexibilidad de su interacción con el alumno, convirtiendo a éste en el auténtico protagonista del aprendizaje. Hasta entonces la mayoría de los programas didácticos de simulación presentaban al estudiante un número limitado de situaciones de aprendizaje, que venían determinadas por valores prefijados para las magnitudes físicas relevantes.

A partir de una idea sencilla como es el movimiento de una bola dentro de una caja, el programa *Dinamic* confiere libertad plena al estudiante para que fije los valores de las magnitudes físicas relevantes y así, conducirlo a situaciones de aprendizaje por descubrimiento guiado.

Ambas versiones de *Dinamic* constituyen software didáctico para la simulación del movimiento de una esferita confinada en una caja bajo la acción de un campo bidimensional de fuerzas.

El alumno puede modificar las siguientes condiciones del móvil y características del medio:

- La naturaleza del campo de fuerzas aplicado, que puede ser central, constante o variable linealmente con la posición.
  
- La posición y velocidad iniciales de la partícula.
  
- El tipo de colisión del móvil con las paredes del recinto, que puede ser perfectamente elástico o inelástico, o bien corresponder a choques más realistas, cuando el valor del coeficiente de restitución está comprendido entre 0 y 1.
  
- La fuerza de rozamiento sobre el móvil, cuyo módulo es considerado directamente proporcional a su velocidad instantánea.

Asimismo, el programa informa al estudiante de las componentes vectoriales de la posición y velocidad del móvil, del tiempo transcurrido desde el inicio del movimiento y dibuja la trayectoria del móvil.

---

<sup>65</sup> Sierra, J.L. (1997). DINAMIC: Un programa didáctico para la simulación en 2-D de la dinámica de una partícula confinada bajo distintos campos de fuerza. *Revista Española de Física*, 11(1),57-59.

El simulador didáctico constituye un “laboratorio virtual” con el que, mediante la experimentación, los estudiantes realizan tareas diversas como:

- El estudio del principio fundamental de la dinámica y de la ley de la inercia.
- La comprobación del efecto de modificar la fuerza de rozamiento.
- El estudio de diversos movimientos (caída libre, lanzamiento horizontal, vertical y parabólico).
- La comprobación de los efectos de un campo de fuerza central.
- El estudio de distintos tipo de colisión.

El modelo físico-matemático implementado en el simulador *discretiza* la magnitud física tiempo para calcular la posición y la velocidad instantánea del móvil para distintos instantes.

Cualquier instante se calcula adicionando al anterior un valor fijo,  $\Delta t$ :

$$t_n = t_{n-1} + \Delta t, \quad n \in \mathbb{N} \quad [1]$$

La posición de la partícula en el instante  $t_n$  se calcula, teniendo en cuenta su velocidad y posición en el instante anterior, a partir de la ecuación 2:

$$(x(t_n), y(t_n)) = (x(t_{n-1}), y(t_{n-1})) + \Delta t (v_x(t_{n-1}), v_y(t_{n-1})) \quad [2]$$

De forma análoga, la expresión para la velocidad de la partícula en el instante  $t_n$  se deduce de la *discretización* de la ecuación fundamental de la dinámica, dando lugar a la ecuación 3:

$$(v_x(t_n), v_y(t_n)) = (v_x(t_{n-1}), v_y(t_{n-1})) + \frac{\Delta t}{m} (F_x(t_{n-1}), F_y(t_{n-1})) \quad [3]$$

Los distintos tipos de fuerza que incorpora el algoritmo del programa son tratados de la siguiente manera:

- a) *Fuerza constante*: las componentes vectoriales ( $F_x$  y  $F_y$ ) son definidas por el alumno y permanecen con valores fijos durante la simulación.
- b) *Fuerza variable con la posición*: cada componente vectorial es directamente proporcional al desplazamiento en esa dirección, como se indica en el sistema de ecuaciones 4.

$$\begin{aligned} F_x(t_n) &= K_x[x(t_n) - x_0], & x_0 &= x(0) \\ F_y(t_n) &= K_y[x(t_n) - x_0], & y_0 &= y(0) \end{aligned} \quad [4]$$

siendo  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $K_x$  y  $K_y$  definidos por el alumno.

- c) *Fuerza central*: las coordenadas del centro de fuerzas ( $x_c$ ,  $y_c$ ) y el módulo de la fuerza,  $F$ , son definidos por el estudiante. Las componentes vectoriales de la fuerza vienen dadas por el sistema de ecuaciones 5.

$$\begin{aligned} F_x(t_n) &= F \frac{x_c - x(t_n)}{\sqrt{[x_c - x(t_n)]^2 + [y_c - y(t_n)]^2}} \\ F_y(t_n) &= F \frac{y_c - y(t_n)}{\sqrt{[x_c - x(t_n)]^2 + [y_c - y(t_n)]^2}} \end{aligned} \quad [5]$$

- d) *Fuerza de rozamiento*: el modelo físico-matemático del simulador asume que la fuerza de rozamiento es directamente proporcional a la velocidad a través de un parámetro,  $R$ , definido por el alumno, como indica la ecuación 6.

$$(F_{\text{rozamiento},x}, F_{\text{rozamiento},y}) = R (v_x, v_y) \quad [6]$$

La velocidad de la partícula, según la dirección normal a la pared, después de la colisión viene dada por la ecuación 7, donde  $r$  es el coeficiente de restitución definido por el alumno:

$$v' = -r v \quad [7]$$

La versión del programa *Dinamic* ejecutable en el sistema operativo MS-DOS ha sido desarrollada en lenguaje Pascal con el entorno integrado de programación Turbo Pascal

6.0 de Borland. El reducido tamaño del simulador (45 Kb) permite su ejecución desde un disquete.

El programa presenta tres áreas bien diferenciadas en la pantalla, como se puede apreciar en la Figura 31:

- *Un menú de opciones:* para establecer las condiciones iniciales del móvil, definir el tipo de fuerza que se aplica, detener el movimiento de la partícula, salir del programa.
- *Una ventana principal:* para visualizar el movimiento de la partícula.
- *Una zona informativa:* para visualizar los datos iniciales y los resultados numéricos.

El movimiento de la partícula se simula dibujando alternativa e iterativamente una circunferencia en un determinado color y posteriormente, en el color de fondo de la pantalla, cambiando las coordenadas de su centro geométrico de acuerdo con la posición calculada en la ecuación 2.

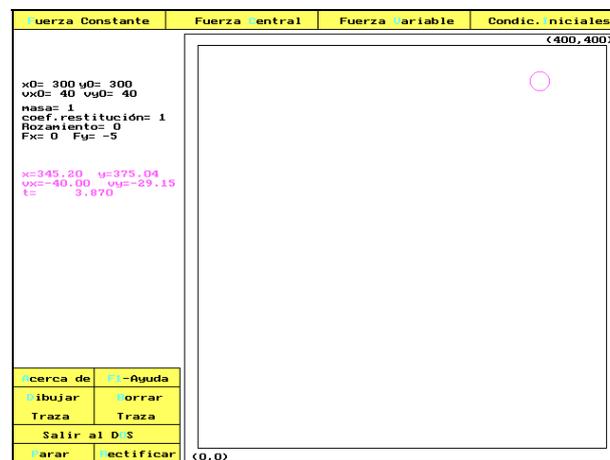


Figura 31. Pantalla del simulador *Dinamic* versión MS-DOS.

Este programa didáctico junto con otros dos simuladores comerciales fue utilizado satisfactoriamente en una investigación piloto (Sierra y Perales<sup>4</sup>, 1999) llevada a cabo en el I.E.S. *Luis Bueno Crespo* de Ogijares (Granada).

A pesar de su constatado potencial didáctico, *Dinamic* presentaba la limitación de ser ejecutable sólo en el entorno MS-DOS, y por tanto, infrutilizaba las prestaciones gráficas del ordenador, que el sistema operativo Windows sí conseguía gestionar.

Por consiguiente, con objeto de potenciar sus características técnicas, se decide codificar el programa de simulación en un lenguaje de programación visual, orientado a objetos y que genere ficheros ejecutables en Windows 95 y versiones superiores.

Puesto que la herramienta utilizada por el coordinador del proyecto en el desarrollo de los anteriores programas informáticos didácticos fue un entorno integrado de programación en lenguaje Pascal de la empresa Borland, en coherencia con esta experiencia previa se decide desarrollar los nuevos simuladores con el entorno de programación Delphi 5.0 de la misma empresa informática. Esta herramienta de desarrollo permite compilar un programa codificado en lenguaje Pascal y generar su correspondiente fichero ejecutable en Windows.

### **Características técnicas y didácticas**

La versión de *Dinamic* para Windows simula el mismo fenómeno que su versión antecesora en MS-DOS: el movimiento bi-dimensional de una partícula en un recinto cerrado mientras está sometida a campos de fuerzas.

El nuevo programa puede ser ejecutado desde disquete y necesita de tres ficheros: un archivo de ayuda con extensión *.hlp* de 30 Kb, un fichero de contenidos de ayuda con extensión *.cnt* de 2 Kb y un fichero ejecutable con extensión *.exe* de 475 Kb.

El programa *Dinamic* bajo Windows rentabiliza más las prestaciones técnicas de los nuevos ordenadores con los que se dotan los institutos e incorpora distintas novedades con un importante valor educativo:

- Presentación de gráficas en tiempo real de la posición, velocidad y aceleración del móvil frente al tiempo.
- Visualización de los vectores de posición, velocidad y fuerzas aplicadas (distinguiendo entre peso y fuerza de rozamiento), así como de la trayectoria del móvil.

- Grabación de los diseños experimentales del alumno en el disco duro del ordenador, para su posterior revisión por el profesor.
- Posibilidad de que el alumno pueda activar o desactivar la gravedad del micromundo, independientemente de la fuerza externa aplicada sobre el móvil.
- Ayuda al estudiante sobre el rango de los valores numéricos permitidos para cada variable y sobre la utilización del simulador.

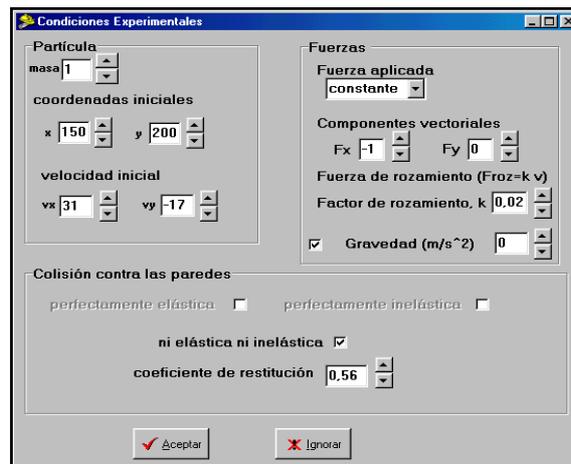
El simulador está concebido para su uso en el aula como un “laboratorio virtual” que facilita al alumno el aprendizaje de la mecánica newtoniana mediante pequeñas investigaciones dirigidas por el profesor. Además, *Dinamic* posibilita el tratamiento de las concepciones alternativas de los estudiantes, promoviendo su evolución hacia las ideas científicas.

Por ello, la pretendida evolución de los esquemas previos de los estudiantes es asumida en los siguientes objetivos didácticos del programa:

- Analizar el principio fundamental de la dinámica, observando la influencia de la masa y de la fuerza sobre el movimiento de la partícula.
- Analizar el principio de la inercia, observando que un cuerpo mantiene su movimiento sin que actúe ninguna fuerza sobre él.
- Distinguir los conceptos de trayectoria y gráfica posición-tiempo.
- Distinguir los conceptos de desplazamiento y espacio recorrido.
- Comprobar que la fuerza de rozamiento siempre se opone al movimiento.
- Comprender el concepto de vector de posición.
- Analizar y comparar la caída libre de los cuerpos sometidos a rozamiento y en el vacío.
- Interpretar las gráficas posición-tiempo, velocidad-tiempo y aceleración-tiempo.

- Identificar las gráficas características de los movimientos uniforme, uniformemente acelerado y variado.
- Reconocer que la velocidad instantánea no siempre tiene la misma dirección y sentido que la fuerza.
- Reconocer que un cuerpo sometido a una fuerza externa y a rozamiento adquiere con el tiempo un movimiento uniforme.
- Analizar las variables que influyen en un lanzamiento horizontal.
- Analizar las variables que influyen en un lanzamiento parabólico.

El programa ofrece al estudiante, a través de la ventana representada en la Figura 32, la posibilidad de establecer los valores de las variables del fenómeno que le conduzcan al diseño experimental adecuado para contrastar sus hipótesis.



**Figura 32.** Ventana para el desarrollo del diseño experimental.

Las magnitudes físicas sobre las que puede actuar el estudiante y su rango de valores permitidos son los siguientes:

- Masa de la partícula, siendo su variación mínima de 1Kg:

$$1 \text{ Kg} \leq \text{masa} \leq 50 \text{ Kg}$$

- Coordenadas iniciales de la partícula, con una variación mínima de 1 m:

$$0 \leq x \leq 530 \text{ m}$$

$$0 \leq y \leq 450 \text{ m}$$

- Velocidad inicial de la partícula, con una variación mínima de  $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ :

$$-100 \frac{\text{m}}{\text{s}} \leq v_x \leq 100 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$-100 \frac{\text{m}}{\text{s}} \leq v_y \leq 100 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- Fuerza aplicada sobre la partícula, con una variación mínima de 1 N:

$$-20 \text{ N} \leq F_x \leq 20 \text{ N}$$

$$-20 \text{ N} \leq F_y \leq 20 \text{ N}$$

- Factor de proporcionalidad de la fuerza de rozamiento con respecto a la velocidad instantánea de la partícula, con una variación mínima de  $0.01 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$ :

$$0 \leq K \leq 2 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

- Gravedad, con una variación mínima de  $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ :  $0 \leq g \leq 40 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

- Coeficiente de restitución, comprendido entre los valores 0 (colisión perfectamente inelástica) y 1 (colisión perfectamente elástica), con una variación mínima de 0.01.

Una vez que el estudiante realiza su diseño experimental, el programa le solicita identificarse a través de la ventana representada en la Figura 33, para así poder registrar su nombre junto con las condiciones experimentales y permitir al profesor evaluar la actividad de cada alumno.

**Figura 33.** Ventana de identificación del estudiante.

La pantalla principal del simulador (Figura 34) presenta tres áreas con distinta finalidad:

a) *Una ventana rectangular*, ocupando la mayor parte de la pantalla, donde se mueve el círculo que representa la partícula material y se visualizan los vectores asociados a las magnitudes vectoriales relevantes mientras tiene lugar la animación: vector de posición, representado con color verde oscuro; velocidad instantánea, con color violeta; fuerza aplicada, con color verde claro; fuerza de rozamiento, con color rojo.

b) Una zona informativa constituida por:

b.1) Tres pequeñas ventanas situadas a la derecha de la pantalla en una misma columna, donde se representan en tiempo real las gráficas de posición-tiempo, velocidad-tiempo y aceleración-tiempo, así como los valores instantáneos del espacio recorrido, de la celeridad y del módulo de la aceleración. El hecho de que la información ofrecida sea en tiempo real significa que se actualiza continuamente, mientras la partícula se está desplazando.

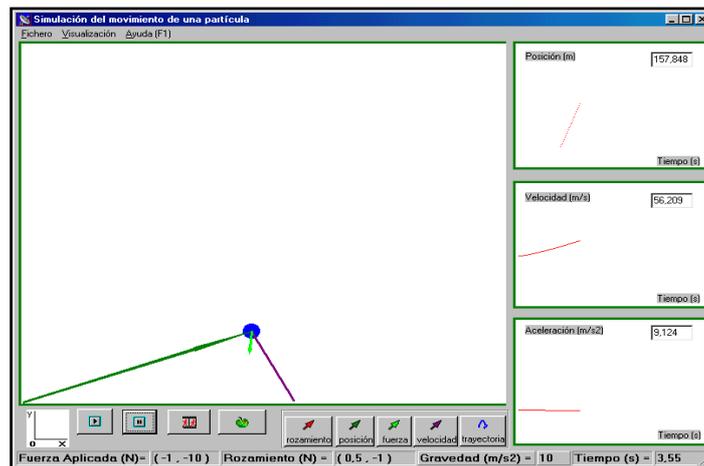


Figura 34. Pantalla principal del programa *Dinamic* versión Windows.

b.2) La barra de estado situada en la parte inferior de la pantalla, que informa de las componentes vectoriales de la fuerza aplicada sobre el móvil y de la fuerza de rozamiento, así como del valor de la gravedad y el instante de tiempo actual.

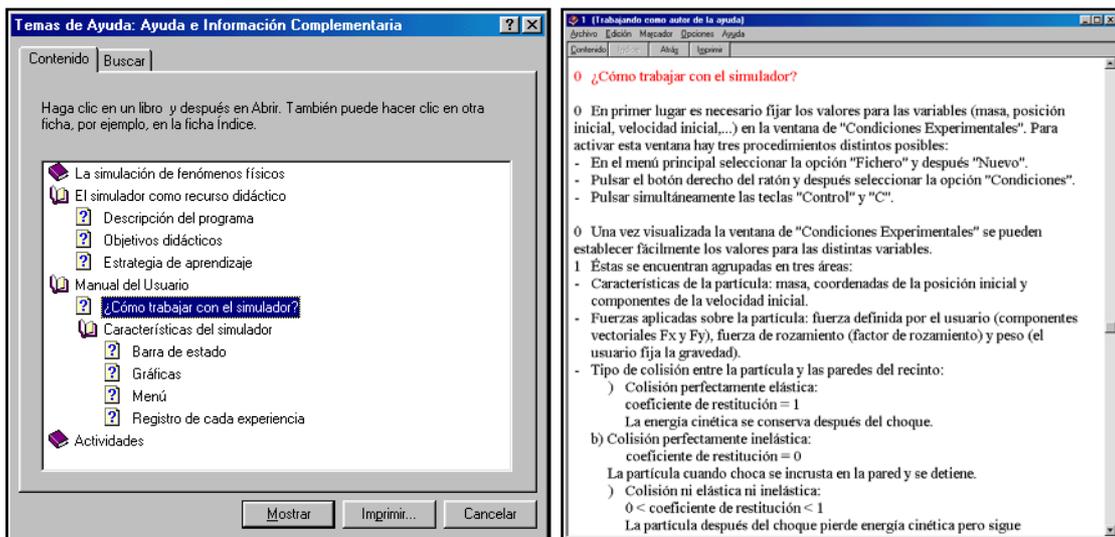
c) *Área de control* constituida por:

c.1) Un menú principal situado en la parte superior de la pantalla, mediante el cual el alumno puede:

*Opción "Fichero"*: comenzar una nueva experiencia, estableciendo los valores de las magnitudes físicas relevantes para el movimiento; salir del programa.

*Opción “Visualización”*: activar o desactivar la representación de la trayectoria y de los vectores fuerza aplicada, velocidad instantánea, fuerza de rozamiento y/o vector de posición.

*Opción “Ayuda”*: solicitar ayuda al programa, a la que se puede acceder también pulsando la tecla F1 (Figura 35).



**Figura 35.** Índice de ayuda y parte del contenido de la ayuda referida al manejo del simulador.

c.2) Una serie de botones situados en la zona inferior de la pantalla, por encima de la barra de estado, cuya función se indica en la Tabla 76:

BOTÓN	FUNCIÓN DESEMPEÑADA
	Iniciar la animación
	Detener la animación
	Ejecutar la animación paso a paso
	Activar o desactivar la acción de la gravedad
	Activar o desactivar la visualización del vector fuerza de rozamiento
	Activar o desactivar la visualización del vector de posición
	Activar o desactivar la visualización del vector velocidad
	Activar o desactivar la visualización del vector fuerza aplicada
	Activar o desactivar la visualización de la trayectoria

**Tabla 76.** Botones del simulador a disposición del alumno para controlar la animación.

Los diseños experimentales elaborados por cada estudiante son grabados secuencialmente en un fichero de texto (c:\datos.txt) cuyo formato se indica en la Figura 35.

```

Andrés-López
masa=1
(x,y)=(81,95)
(vx,vy)=(60,0)
(Fx,Fy)=(0,5)
rozamiento=0
coef.restitución=1
gravedad=0
06/05/00

```

**Figura 35.** Ejemplo de un fichero de diseños experimentales.

---

La Figura 36 representa el organigrama que describe el funcionamiento del programa.

El simulador *Dinamic* es validado en el aula (Sierra y Perales<sup>5</sup>, 2003) durante el curso académico 1999-2000.

A partir de las observaciones de aula, de los informes de investigación elaborados por los estudiantes y de los registros informáticos, se constata cierta dificultad para la mayoría de los alumnos en realizar las actividades de investigación, especialmente en la fase del diseño experimental para contrastar sus hipótesis y en la interpretación de los resultados mostrados por el simulador (gráficas, representaciones vectoriales y valores numéricos). Asimismo, se observa cierta tendencia en algunos estudiantes a modificar indiscriminadamente todas las variables.

Tras la realización de determinadas experiencias con el simulador, algunos alumnos reconocen la incorrección de sus hipótesis iniciales, pero son incapaces de justificar razonadamente el comportamiento inesperado del móvil que han observado.

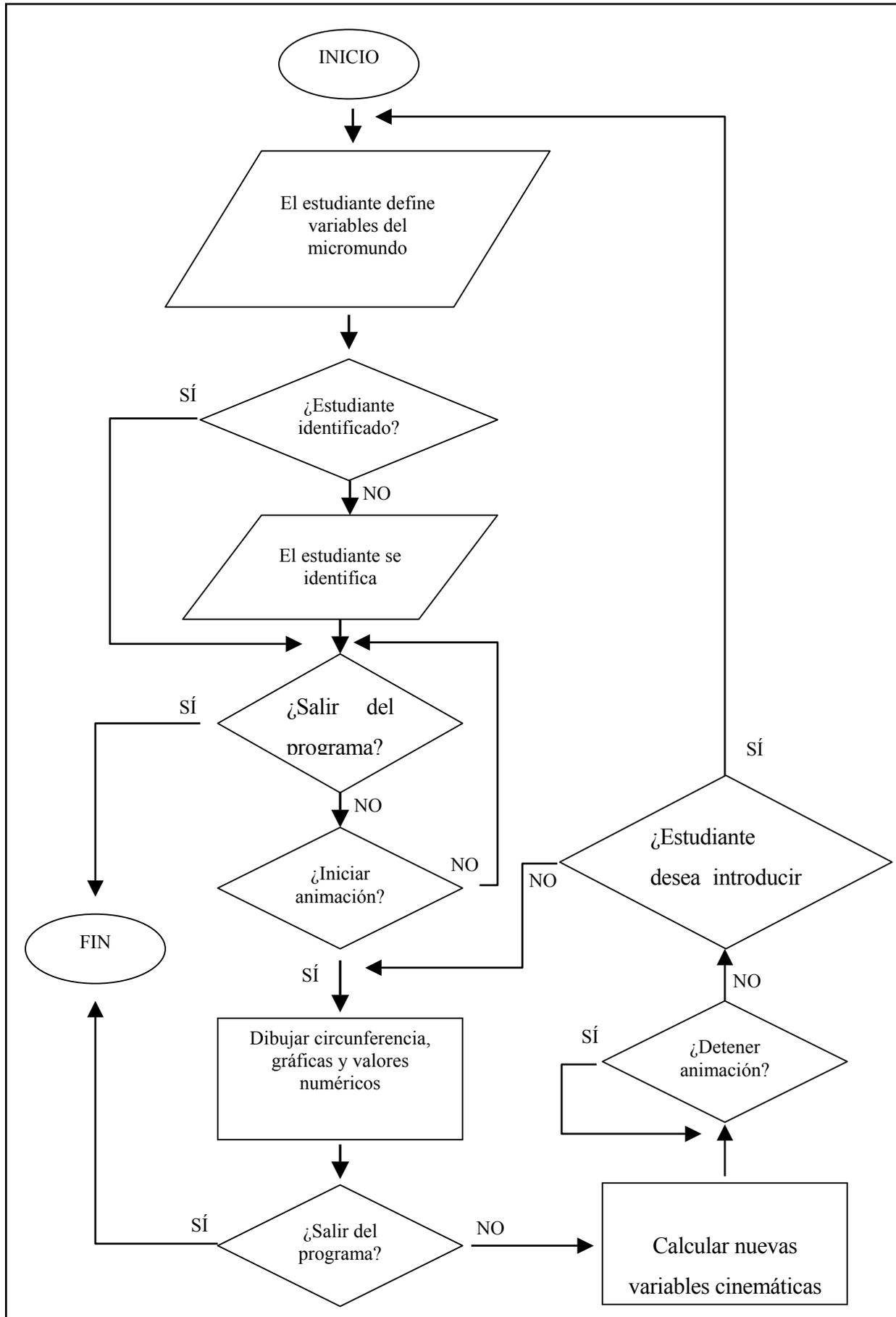


Figura 36. Organigrama del funcionamiento del programa *Dinamic*.

Por consiguiente, con objeto de minimizar las dificultades detectadas en el aula, se decide incorporar las siguientes modificaciones en el programa informático de simulación:

- Distintos niveles de complejidad para el modelo físico implementado, de manera que cada actividad de investigación ofrezca ciertas variables activadas y manipulables por el estudiante, mientras permanecen otras desactivadas, para así centrar la atención del alumno en los aspectos del modelo físico más adecuados a su nivel de conocimiento.
- El aprendizaje de algunos procedimientos científicos puede ser facilitado cuando el simulador presenta al estudiante más de un cuerpo en movimiento.
- Los modelos físico-matemáticos implementados no serán todos cuantitativos sino que también el simulador implementará modelos de naturaleza cualitativa.
- Las actividades de investigación deben estar integradas en la base de datos del simulador y deben presentar una complejidad progresiva.
- Los mensajes de ayuda de carácter técnico ofrecidos por el simulador, serán complementados con orientaciones de índole didáctica que faciliten al estudiante la comprensión del fenómeno observado.

En definitiva, un nuevo programa didáctico de simulación (*Mobile*) es desarrollado a partir de *Dinamic* para cumplir los anteriores requisitos.

## **MOBILE**

### **Características generales**

*Mobile* es un entorno didáctico de simulación que pretende facilitar el aprendizaje de distintos procedimientos científicos y de conceptos fundamentales de mecánica newtoniana.

Técnicamente, este entorno informático constituye una versión evolucionada del programa *Dinamic*, fruto del análisis de las interacciones que genera su aplicación en el aula.

El programa *Mobile* desempeña dos funciones de apoyo al estudiante: por un lado, constituye el soporte tanto de las actividades de investigación (enunciado del problema,

variables accesibles del fenómeno y ayudas a la investigación) como de los informes de la investigación realizada (hipótesis, diseño experimental, acciones realizadas y conclusiones); por otro, representa el “laboratorio virtual” donde el estudiante experimenta y extrae información.

Asimismo, el profesor utiliza el entorno informático con dos objetivos diferentes: por una parte, para elaborar, secuenciar y grabar las actividades de investigación a realizar por el alumno; por otra, para evaluar la actividad desarrollada por el estudiante durante su labor investigadora, a partir de sus acciones registradas en el disco del ordenador.

El módulo experimental del programa simula el movimiento simultáneo de hasta tres esferitas, con propiedades independientes entre sí, confinadas en una caja cerrada y sometidas a distintas condiciones ambientales.

El algoritmo de la simulación coincide con el implementado en *Dinamic*, por lo que las ecuaciones [1] – [7] y el organigrama representado en la Figura 9 mantienen su validez para *Mobile*.

La apariencia del módulo experimental en un momento dado depende del modelo físico activo, determinado por la actividad de investigación abordada por el alumno.

Un total de ocho modelos distintos dan soporte a otros tantos módulos experimentales: cuatro de ellos tratan los aspectos cualitativos del movimiento y los otros cuatro presentan información cuantitativa.

Las actividades de investigación están organizadas en *fichas de trabajo*, que contienen una secuencia de *tareas*, a realizar por el alumno, con una misma estructura: enunciado del problema, tipo de modelo físico y tres niveles de ayuda a la investigación.

El estudiante comienza la sesión de trabajo con *Mobile* abriendo una ficha de trabajo a través de la cual el profesor plantea una determinada investigación.

Como consecuencia de la actividad investigadora, el estudiante genera su propio documento, denominado *cuaderno de trabajo*, constituido por una serie de *hojas* con una estructura común: hipótesis de la investigación, resultados y conclusiones (visible para el alumno) y acciones llevadas a cabo durante la experimentación (visible sólo al revisar el cuaderno de trabajo).

A partir de una ficha de trabajo, cada estudiante genera su propio cuaderno de trabajo, del que cada hoja representa la respuesta del estudiante a la correspondiente tarea de la ficha.

El programa mantiene una base de datos integrada por los siguientes ficheros:

- Un fichero maestro de las fichas de trabajo con formato Paradox (*maestro-ficha.db*), conteniendo referencias a las fichas creadas mediante la siguiente estructura: número de ficha y nombre del profesor que la ha elaborado.
- Un fichero maestro de los cuadernos de trabajo con formato Paradox (*maestro-ficha.db*), que relaciona cada cuaderno de trabajo con su correspondiente ficha mediante la siguiente estructura: nombre de cuaderno, número de ficha y nombre del alumno.
- Un fichero de tareas con formato Paradox (*tareas.db*), conteniendo las actividades de investigación planteadas por el profesorado mediante la siguiente estructura: número de tarea, modelo físico, tipo de tarea (investigación, especificación u optimización), enunciado del problema, explicación de nivel 1, explicación de nivel 2, explicación de nivel 3, nombre del profesor que ha elaborado la tarea y fecha de creación.
- Los ficheros binarios que constituyen las fichas de trabajo (ficheros con extensión *.fca*), integrados por un número variable de registros (tareas para el alumno), los cuales corresponden al número de tarea.
- Los ficheros binarios que constituyen los cuadernos de trabajo (ficheros con extensión *.cno*), integrados por el mismo número de registros que las fichas de trabajo correspondientes. La estructura de cada registro es la siguiente: hipótesis 1, hipótesis 2, hipótesis 3, conclusiones y diseño experimental.

La gestión de esta base de datos desde *Mobile* ha obligado a crear un programa auxiliar para su instalación automática desde CD-Rom, que facilita al profesor la configuración inicial del simulador.

A continuación, el programa *Mobile* será descrito en detalle con un enfoque centrado en la interacción usuario-programa, evitando la perspectiva meramente técnica del programador informático. Puesto que *Mobile* está dirigido a dos perfiles de usuario bien distintos (alumno y profesor), su descripción versará en torno a la interacción de éstos con el programa.

## Interacción programa informático-profesor

En cuanto el programa es ejecutado, ofrece la posibilidad al profesor de consultar sus características a través de una ventana de ayuda, como se muestra en la Figura 37.

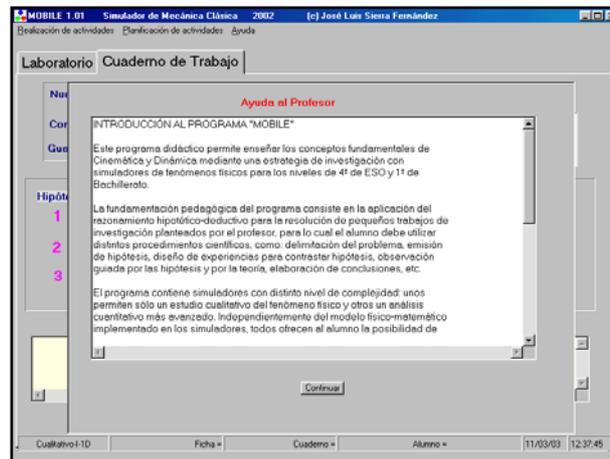


Figura 37. Ventana de ayuda inicial al profesor.

El profesor puede realizar cuatro tareas distintas con el programa:

- a) *Experimentar con un determinado simulador*, que será seleccionado en la opción “Modelo físico” del menú desplegado en la opción “Planificación de actividades” del menú principal, como se indica en la figura 38.

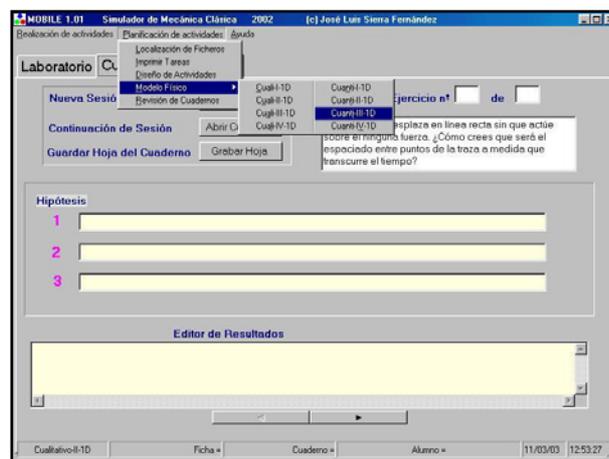


Figura 38. Selección del modelo físico implementado por el módulo de simulación.

- b) *Imprimir los documentos* elaborados por el profesorado (actividades de investigación y fichas de trabajo) y por el alumnado (cuadernos de trabajo), a través de las opciones “Realización de actividades” y “Planificación de actividades”.
- c) *Revisar los documentos elaborados por el alumnado*, que el programa denomina cuadernos de trabajo e identifica mediante la extensión *.cno*. Para ello, es preciso seleccionar la opción de “Revisión de cuadernos” del menú desplegado en la opción “Planificación de actividades” y posteriormente, abrir un determinado cuaderno de trabajo, como se muestra en la Figura 39.

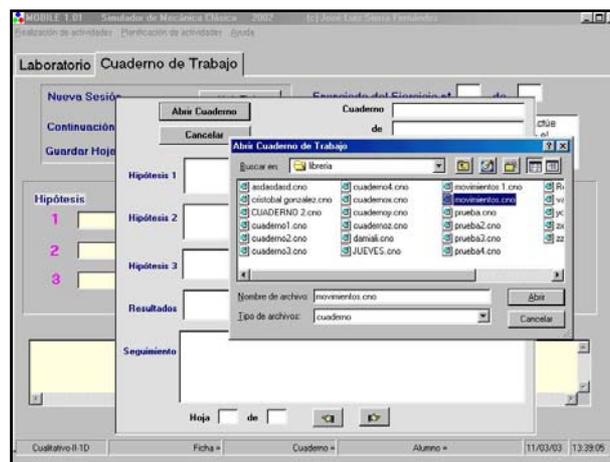


Figura 39. Ventana de selección del cuaderno de trabajo a revisar por el profesor.

El cuaderno de trabajo (que técnicamente es un fichero de extensión *.cno*) está constituido por distintas hojas (que se corresponden con los registros del fichero) con una misma estructura: hipótesis iniciales emitidas por el alumno, resultados y conclusiones de la investigación, secuencia de acciones efectuadas por el alumno para contrastar sus hipótesis (Figura 40). El profesor puede *navegar* entre las distintas hojas del cuaderno de trabajo con el fin de evaluarlo.

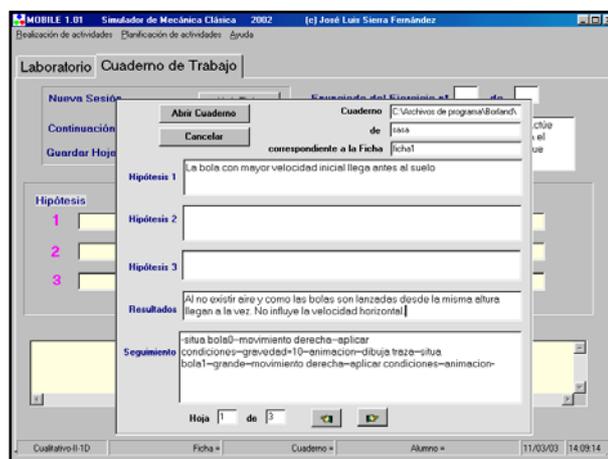
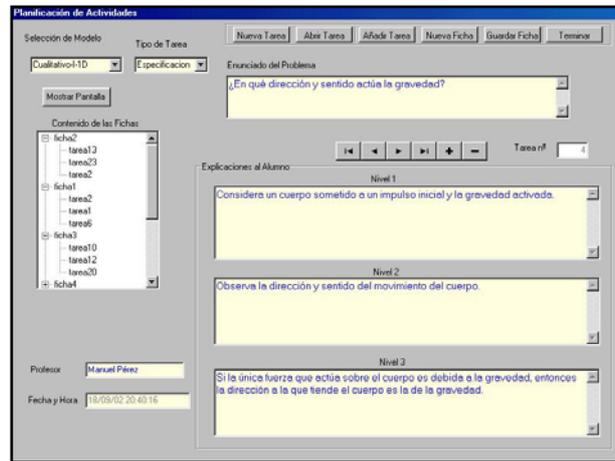


Figura 40. Ventana de visualización del contenido de un cuaderno de trabajo.

- d) *Elaborar las actividades de investigación* en el módulo de Planificación de Actividades (ver Figura 41), al que se accede con una contraseña (1766) a través de la opción “Diseño de actividades” del menú desplegado en la opción “Planificación de Actividades”.



**Figura 41.** Módulo de Planificación de Actividades.

El profesor puede bien crear una nueva ficha con algunas de las tareas ya existentes en la base de datos, o bien incorporar nuevas tareas que posteriormente serán utilizadas. Para lo primero, el profesor sólo tiene que pulsar el botón “Nueva Ficha” y automáticamente aparecerá la denominación de la nueva ficha en la ventana de “Contenido de las Fichas”, que deberá ser seleccionada mediante el ratón por el profesor. Una vez seleccionada la ficha, se utilizará los botones de navegación (o el botón “Abrir Tarea”) para visualizar la tarea deseada y posteriormente, el botón “Añadir Tarea” para incorporarla a la ficha. El proceso se repetirá con las distintas tareas que integrarán la ficha. Para finalizar, el profesor pulsará con el ratón el botón “Guardar Ficha”.

Por otra parte, si se desea crear una nueva tarea se pulsará el botón “Nueva Tarea” o el botón + de la barra de botones de navegación en la base de datos. En consecuencia, los campos de edición de la nueva tarea aparecen en blanco, para ser cumplimentados por el profesor, salvo dos campos que presentan valores por defecto: tipo de tarea y selección de modelo.

El campo “Tipo de tarea” sólo es visible para el profesor y puede tomar tres valores distintos (Investigación, Especificación y Optimización) para informar a otros profesores de la naturaleza de la tarea propuesta.

El campo “Selección de modelo” permite al profesor establecer el modelo físico, y por tanto la apariencia del módulo experimental, con el que trabajará el alumno al resolver la

tarea propuesta. Si el profesor no recuerda las variables físicas disponibles en un determinado modelo, puede utilizar el botón “Mostrar Pantalla” para visualizar el módulo experimental correspondiente.

### Interacción programa informático-estudiante

En cuanto el programa es ejecutado, ofrece la posibilidad al estudiante de consultar sus características a través de una ventana de ayuda, como se muestra en la Figura 42.

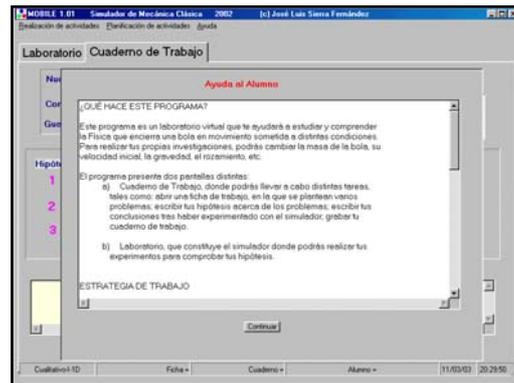


Figura 42. Ventana de ayuda inicial al alumno.

El estudiante comienza la sesión de trabajo con *Mobile* abriendo la ficha de trabajo determinada por el profesor, como se muestra en la Figura 43.



Figura 43. Ventana de selección de la ficha de trabajo.

Una vez abierta la ficha de trabajo, el alumno registra sus hipótesis acerca del problema planteado, para después activar el módulo de *Laboratorio* donde las contrastará con el diseño experimental que considere adecuado.

Cuando la actividad con el simulador haya aportado la suficiente información al estudiante para concluir acerca de sus hipótesis y establecer una posible solución del problema, puede volver al módulo de *Cuaderno de Trabajo* para registrar los resultados (Figura 44). Este proceso se repetirá con las distintas tareas o ejercicios propuestos en la ficha.

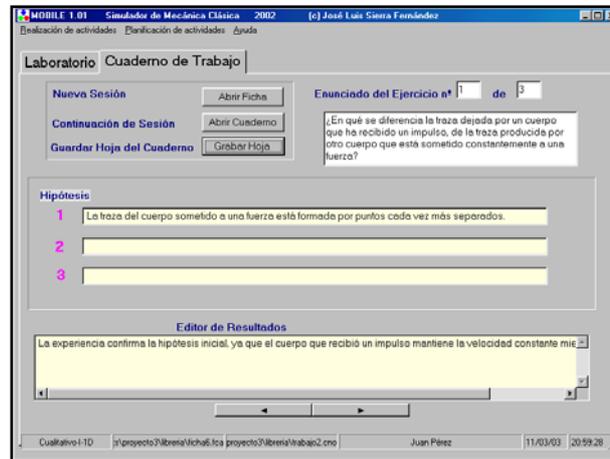


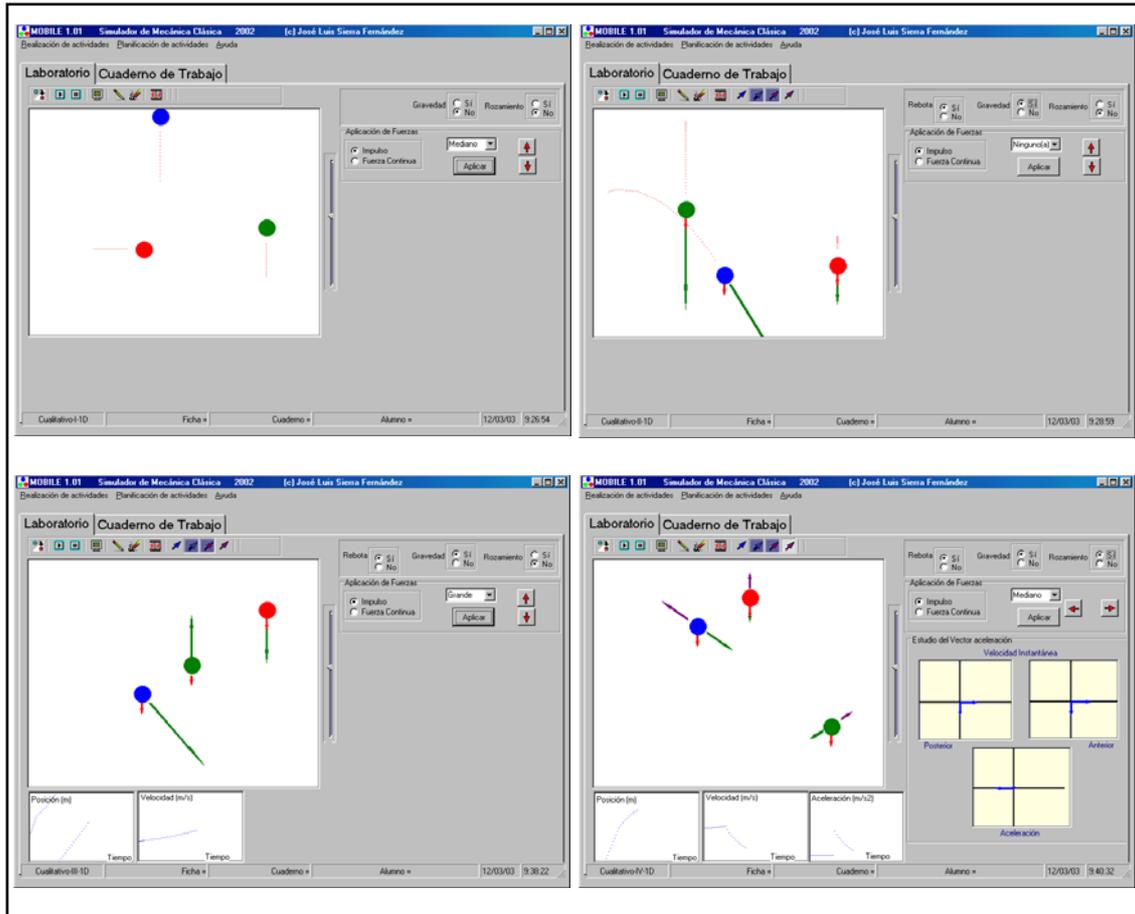
Figura 44. Pantalla de Cuaderno de Trabajo del estudiante

La primera vez que el estudiante cambie de ejercicio, el programa le solicitará un nombre para grabar la primera *hoja* del *cuaderno de trabajo* así como su identificación. En los cambios posteriores, *Mobile* graba automáticamente las hojas del cuaderno. El alumno también podría continuar una sesión anterior, abriendo su cuaderno de trabajo mediante el botón “Abrir Cuaderno”. El módulo de Laboratorio puede presentar hasta ocho apariencias diferentes, específicas de cada modelo implementado. Sin embargo, este módulo mantiene una estructura y unos elementos comunes a todos los modelos: en la parte superior izquierda se sitúa una paleta de botones para controlar la animación (ver Tabla 77); la mayor parte de la pantalla es ocupada por una ventana donde tiene lugar el movimiento de los cuerpos; en la parte superior derecha se sitúan los elementos de control del micromundo y por debajo de éstos, los elementos de caracterización de cada móvil.

BOTÓN	FUNCIÓN DESEMPEÑADA
	Situar un móvil en la pantalla
	Iniciar la animación
	Detener la animación
	Iniciar un nuevo experimento
	Dibujar la trayectoria del móvil
	Borrar la trayectoria del móvil
	Ejecutar la animación paso a paso
	Activar o desactivar la visualización del vector fuerza aplicada
	Activar o desactivar la visualización del vector velocidad
	Activar o desactivar la visualización del vector fuerza de rozamiento
	Activar o desactivar la visualización del vector de posición

**Tabla 77.** Botones del simulador a disposición del alumno para que controle la experiencia.

Los modelos que tratan aspectos cualitativos del movimiento son denominados, en orden creciente de complejidad, *Cualitativo-I-1D*, *Cualitativo-II-1D*, *Cualitativo-III-1D* y *Cualitativo-IV-1D* (Figura 45). La terminación *1D* de la denominación de los modelos hace referencia al carácter unidimensional de las condiciones iniciales del movimiento.

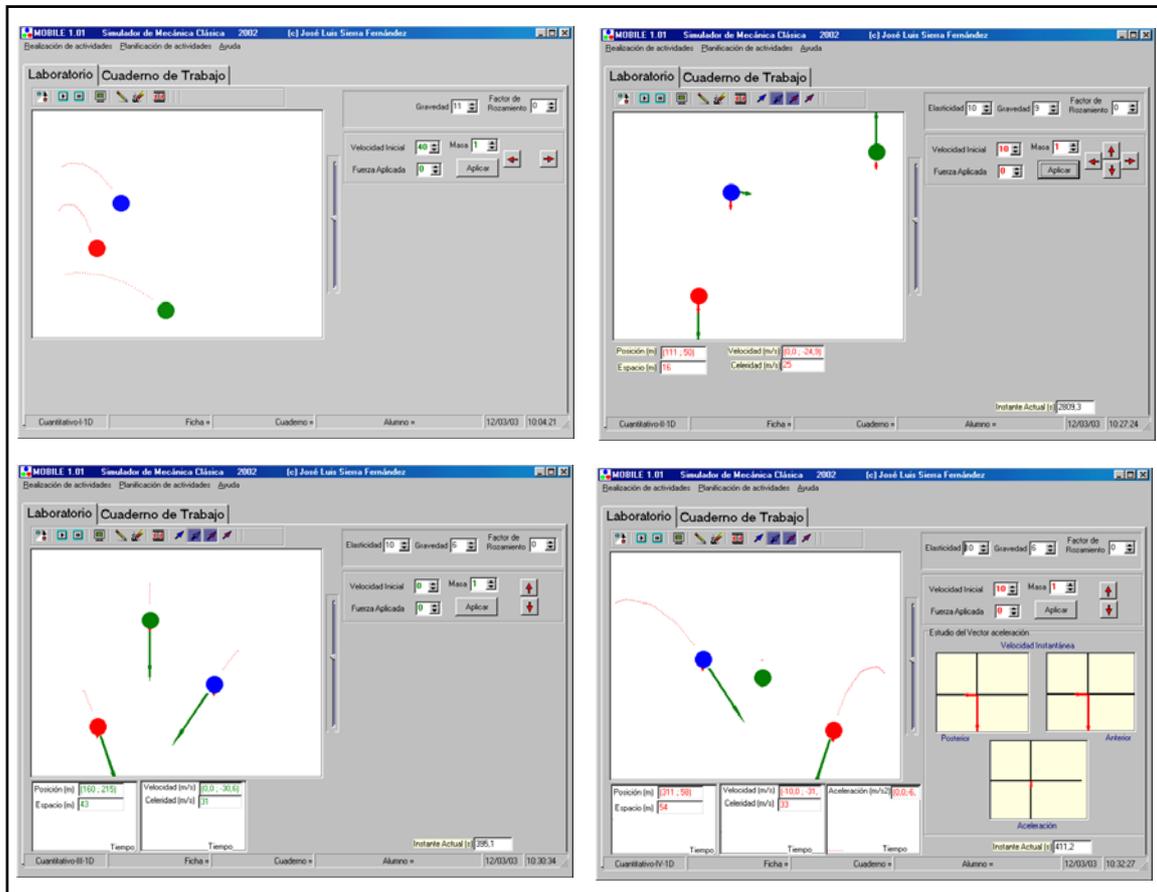


**Figura 45.** Apariencia del módulo de experimentación asociado a los siguientes modelos cualitativos, nombrados de izquierda a derecha y de arriba a abajo: *Cualitativo-I-ID*, *Cualitativo-II-ID*, *Cualitativo-III-ID* y *Cualitativo-IV-ID*.

El simulador para los modelos cualitativos permite al estudiante modificar las características del micromundo entre dos valores posibles (colisión perfectamente elástica o inelástica, ingravedez o gravedad no nula, vacío o rozamiento no nulo) y las variables de cada móvil entre cuatro valores permitidos (impulso inicial o fuerza aplicada de intensidad grande, mediana, pequeña o nula).

En los modelos que ofrecen gráficas en tiempo real, el estudiante selecciona el móvil cuya gráfica desea visualizar pulsando cualquier botón del ratón cuando el cursor de éste se sitúa sobre el móvil.

Los modelos que tratan aspectos cuantitativos del movimiento son denominados, en orden creciente de complejidad, *Cuantitativo-I-ID*, *Cuantitativo-II-ID*, *Cuantitativo-III-ID* y *Cuantitativo-IV-ID* (Figura 46).



**Figura 46.** Apariencia del módulo de experimentación asociado a los siguientes modelos cuantitativos, nombrados de izquierda a derecha y de arriba a abajo: *Cuantitativo-I-ID*, *Cuantitativo-II-ID*, *Cuantitativo-III-ID* y *Cuantitativo-IV-ID*.

El alumno puede modificar durante la animación las características de cualquier móvil, deteniendo la simulación y pulsando el botón izquierdo del ratón mientras el cursor de éste se sitúa sobre el móvil seleccionado.

### Evaluación del entorno informático

Una etapa fundamental en el diseño y desarrollo del software educativo es su evaluación en el contexto escolar donde se pretende aplicar, ya que este proceso aporta el conocimiento que necesita el programador para implementar las mejoras en su programa, encaminadas a garantizar su auténtico valor educativo.

Desde esta perspectiva, el programa *Mobile* ha sido sometido a dos procesos distintos de evaluación:

- *Una evaluación interna o formativa*, cuyos instrumentos de medida han sido las observaciones de aula acerca de la interacción alumno-programa, los comentarios de los profesores del equipo de trabajo y las opiniones de los alumnos participantes en la innovación. Esta evaluación ha posibilitado la incorporación de sucesivas mejoras técnicas y pedagógicas en el entorno de simulación, que ha evolucionado desde un simulador como *Dinamic*, en principio ejecutable en MS-DOS y posteriormente en Windows, hasta convertirse en la versión actual, *Mobile*, que constituye un entorno informático de cierta complejidad.
- *Una evaluación externa o sumativa*, basada en los resultados de un cuestionario (lista de control) cumplimentado por once profesores de Física y Química de institutos pertenecientes a la comarca del poniente almeriense, que han participado durante los meses de enero y febrero de 2003 en un curso de formación permanente del profesorado impartido por el coordinador del proyecto. Asimismo, las opiniones vertidas por algunos de estos profesores durante las sesiones de trabajo con el programa *Mobile* representan un instrumento complementario al cuestionario.

La puntuación media obtenida en los cuestionarios es 44'13 sobre un valor máximo de 63, con una desviación típica de 7'24. Las puntuaciones mínima y máxima son 30 y 53 respectivamente, siendo la mediana 44.

## INTERACTIVE PHYSICS

### Características generales

El programa *Interactive Physics*<sup>12</sup> constituye un micromundo que simula el movimiento de objetos sometidos a las leyes de la mecánica newtoniana.

El usuario define las características ambientales del micromundo (gravedad, rozamiento, campos de fuerza, etc.) así como el número y las propiedades de los objetos (posición y velocidad iniciales, masa, tamaño, densidad, carga eléctrica, etc). Estos objetos pueden ser de diversa naturaleza: cuerpo de forma circular, rectangular o irregular; muelle; hilo; amortiguador; motor; sistema de poleas, etc. El usuario puede visualizar gráfica o numéricamente los valores de las propiedades de los objetos, así como modificarlos mediante los correspondientes elementos de control.

Las características del programa *Interactive Physics* permiten su aplicación en el aula con tres finalidades distintas:

1. Mostrar un determinado fenómeno, sin que el alumno pueda interactuar con el programa.
2. Simular el comportamiento de un sistema físico, cuyas variables pueden ser modificadas por el estudiante.
3. Modelizar un fenómeno o sistema físico, siendo el estudiante quien construye el escenario de la simulación.

En este proyecto de innovación educativa se ha optado por la segunda aplicación, para lo cual el equipo de profesores ha creado varios simuladores en el entorno de *Interactive Physics*.

### **Descripción de los simuladores desarrollados**

Los distintos programas de simulación creados requieren ser ejecutados en el entorno de *Interactive Physics* y tienen un tamaño comprendido entre 23 Kb y 70 Kb, dependiendo del número de elementos de control que contengan.

La simulación puede ser detenida en cualquier momento, avanzar o retroceder en el tiempo *paso a paso* e incluso, ser llevada a un instante determinado.

Los simuladores desarrollados en este entorno presentan el inconveniente, desde una perspectiva didáctica, de que no registran la actividad del alumno ni pueden ofrecer ayuda para la investigación.

Los fenómenos elegidos para ser estudiados en este entorno son:

- El movimiento vertical de los cuerpos.
- El movimiento en un plano inclinado.
- El péndulo simple.

- Los movimientos horizontal y parabólico.
  
- Composición de movimientos.

El alumnado puede modificar las variables ambientales de gravedad y rozamiento con el aire, así como diversas variables de los cuerpos (la masa, la velocidad inicial, la elasticidad, la longitud, el coeficiente de rozamiento estático y cinético, etc).

El simulador visualiza las gráficas en tiempo real de distintas magnitudes del móvil frente al tiempo, como: la posición, la velocidad, la aceleración, la energía cinética y la potencial gravitatoria.

La apariencia de los simuladores creados en *Interactive Physics* se muestra en las figuras 47 y 48. Asimismo, una secuencia animada de cada simulador con formato de vídeo digital .avi se ofrece en el CD-Rom adjunto a la memoria.

### **Evaluación del entorno Interactive Physics**

Once profesores de Física y Química de institutos pertenecientes a la comarca del poniente almeriense fueron entrenados en la aplicación didáctica de Interactive Physics, durante un curso de formación permanente del profesorado impartido por el coordinador del proyecto de innovación. Los profesores cumplimentaron un cuestionario para evaluar las características técnicas y el potencial didáctico del programa. Asimismo, el coordinador del proyecto recogió los comentarios realizados por algunos de los profesores participantes en el curso, mientras trabajaban con el programa.

La puntuación media obtenida en los cuestionarios es 44'33 sobre un valor máximo de 63, con una desviación típica de 5'95. Las puntuaciones mínima y máxima son 36 y 54 respectivamente, siendo la mediana 43'50.



Figura 47. Pantallas de algunos de los simuladores creados con Interactive Physics.



Figura 48. Pantallas de algunos de los simuladores creados con Interactive Physics.

## 7. Valoración general del proceso

En relación con las conclusiones anteriores, se pueden extraer una serie de consecuencias de esta investigación con objeto de orientar al profesorado sensible a las tecnologías de la información y comunicación, en la puesta en práctica de estrategias instruccionales que conciben el ordenador como una herramienta intelectual para el aprendizaje de las ciencias.

A continuación, se enuncian algunas de las implicaciones didácticas más relevantes de cara a la práctica docente:

1.- La realización por los estudiantes de pequeños trabajos de investigación dirigida por el profesor, con ayuda de programas de simulación de fenómenos físicos, es viable para la enseñanza de la Física en Bachillerato. Además, esta metodología facilita el

aprendizaje de contenidos conceptuales de mecánica, así como de procedimientos y actitudes científicas.

2.- Los alumnos encuentran más dificultad en el desarrollo de las actividades de investigación con simulador que en la resolución de los problemas tradicionales. En consecuencia, la intervención del profesor es primordial para guiar al alumnado en su tarea investigadora.

3.- El proceso de cambio conceptual debe ser entendido como una evolución de categorías conceptuales. Los resultados de esta investigación indican que la mayoría de los estudiantes sustituyen sus esquemas previos por otras concepciones alternativas más próximas al pensamiento científico.

4.- Los programas informáticos didácticos deben ser evaluados adecuadamente por el profesor, como es habitual con cualquier otro material curricular, previamente a su incorporación en el currículum de la materia enseñada. Esta evaluación debe tener en cuenta que la calidad pedagógica de un programa informático viene determinada, no sólo por las características intrínsecas del software, sino por, lo que es aún más importante, la situación de aprendizaje en la que se pretende incorporar.

5.- Cualquier programa informático didáctico implementa un determinado enfoque de los procesos de enseñanza y aprendizaje que debe estar en sintonía con la estrategia didáctica puesta en juego en el aula por el profesor.

6.- En el marco de una metodología basada en el aprendizaje por investigación dirigida por el profesor y asistida por los simuladores, la labor del docente resulta más compleja e intensa que en la metodología tradicional, puesto que: planifica las actividades de investigación; selecciona y evalúa el software educativo; debe asegurarse de la disponibilidad del aula de informática durante el período previsto; debe encargarse del mantenimiento del software seleccionado, con objeto de que esté disponible desde cualquier ordenador del aula durante todas las sesiones de trabajo previstas; supervisa y dirige la actuación del alumnado; promueve y coordina la participación de todos los estudiantes; extrae de cada sesión de trabajo conclusiones que le permitan modificar y adaptar progresivamente el diseño instruccional y el material curricular a sus alumnos.

7.- El desarrollo de software educativo científico precisa de una estrecha cooperación entre la práctica docente, la didáctica de las ciencias experimentales y la ingeniería de software. Por consiguiente, sería deseable la formación de equipos de trabajo pluridisciplinarios encargados de:

- a) Diagnosticar la situación real de los centros escolares (hardware disponible, software empleado, material de laboratorio, concreción de los currículos científicos, actitud y necesidades del profesorado, etc).
- b) Revisar y evaluar los programas informáticos educativos orientados a la alfabetización científica, que están disponibles en el mercado.
- c) Diseñar y desarrollar nuevo software educativo científico, aplicando los protocolos y técnicas de la ingeniería de software, y asumiendo el conocimiento generado por la didáctica de las ciencias experimentales, así como los resultados que se desprenden de los procesos de diagnóstico de la realidad escolar y de evaluación del software comercializado.
- d) Validar en las aulas el nuevo software y extraer de la situación de aprendizaje propiciada por éste la información necesaria para optimizar sus características y diagnosticar su aplicación más adecuada en el aula.

## **8. Anexos**

### **8.1. Anexo I: Actividades de investigación**

1. ¿Puede un cuerpo moverse indefinidamente sin que actúe sobre él una fuerza?
2. ¿Un cuerpo se mueve siempre en la dirección y sentido de la fuerza aplicada?
3. ¿Un cuerpo se puede mover cuando la resultante de las fuerzas aplicadas es nula?
4. ¿Se mueve un cuerpo cuando la fuerza aplicada es igual a la fuerza de rozamiento?
5. ¿El vector velocidad tiene siempre el mismo sentido y la misma dirección que el vector aceleración?
6. En un determinado instante, ¿puede un cuerpo estar parado y a la vez estar acelerado?

- 
7. Si dos bolas de acero y del mismo tamaño se dejan caer desde distintos aviones que vuelan siempre a la misma altura aunque uno más rápido que el otro, ¿cuál de las dos bolas llegará antes al suelo?
  
  8. Si en el vacío lanzamos horizontalmente, desde la misma altura, dos pelotas idénticas con distinta velocidad, ¿cuál llega antes al suelo, la más rápida o la más lenta?
  
  9. Si situáramos un cuerpo en un cierto punto del espacio en el que no sintiera fuerza alguna:
    - a) ¿Se movería si estuviera en reposo inicialmente?
  
    - b) ¿Se movería si tuviera una velocidad inicial no nula?
  
    - c) Responde a los anteriores apartados suponiendo un cuerpo con el doble de masa.
  
  10. Si dejamos caer un cuerpo en el interior de un recipiente al vacío:
    - a) ¿Qué ocurriría?
  
    - b) ¿Cómo cambia la velocidad?
  
    - c) ¿Cuál será el valor de la aceleración durante la caída?
  
    - d) Si el cuerpo pudiera rebotar en la base del recipiente, ¿volvería a la misma posición desde la que se dejó caer?
  
    - e) Dibuja la(s) fuerza(s) que actúa(n) sobre el cuerpo durante el descenso y durante el ascenso.
  
  11. Si dejamos caer un cuerpo metálico en el interior de un recipiente con aceite:
    - a) ¿Qué ocurriría?

- b) ¿Cómo cambia la velocidad?
  - c) ¿Cuál será el valor de la aceleración durante la caída?
  - d) Si el cuerpo pudiera rebotar en la base del recipiente, ¿volvería a la misma posición desde la que se dejó caer?
  - e) Dibuja la(s) fuerza(s) que actúa(n) sobre el cuerpo durante el descenso y durante el ascenso.
12. ¿Las gotas de lluvia durante su caída aumentan la velocidad indefinidamente?
13. Si dejamos caer un cuerpo en el aire, ¿cómo cambia la aceleración?
14. Si se deja caer libremente una bola metálica en una piscina suficientemente profunda, ¿cómo cambia la velocidad de la bola?
15. La forma de la gráfica de la posición frente al tiempo de un cuerpo en caída libre:
- a) ¿Depende de su masa?
  - b) ¿Depende del valor de la gravedad?
16. ¿Los cuerpos más pesados caen más deprisa en... ?
- a) El vacío.
  - b) El aire.
  - c) El aceite.
17. ¿Cómo influye la elasticidad de un cuerpo en las colisiones que puede experimentar contra otros cuerpos?

- 
18. Si situamos dos botellas de plástico iguales, una llena de agua y otra vacía, a la misma altura respecto del suelo,
- ¿Sobre cuál actúa una fuerza mayor?
  - ¿Cuál caerá con mayor aceleración?
  - ¿Cuál llegará al suelo antes?
  - ¿Cuál llegará al suelo con mayor velocidad?
19. Si lanzamos dos botellas de plástico iguales, una llena de agua y otra vacía, verticalmente hacia arriba con la misma velocidad,
- ¿Cuál llegará a más altura?
  - ¿Cuál llegará antes al suelo?
20. Dos cuerpos de distinta masa pero con la misma forma y volumen son lanzados desde el suelo hacia arriba con la misma velocidad.
- Si el lanzamiento se produce en el vacío, ¿cuál llega más alto?
  - Y si se lanza en el aire, ¿cuál alcanza más altura?
  - ¿Qué cuerpo tiene más energía cinética en el instante del lanzamiento?
  - ¿Cómo se explican los resultados obtenidos en los apartados a y b, sabiendo que ha tenido lugar una transformación de energía cinética en energía potencial?
21. Al lanzar una pelota según un movimiento parabólico,
- ¿Con qué ángulo debe lanzarse para llegar más lejos?

- b) Una misma pelota lanzada con la misma velocidad inicial y con el mismo ángulo, ¿dónde llegaría más lejos, en la Tierra o en la Luna?
- c) ¿La masa de la pelota influye en su alcance cuando es lanzada en el vacío?  
¿Y en el aire?
22. ¿Por qué aparecen de vez en cuando unos “picos” en la gráfica de la aceleración?  
¿Qué significa y cuándo sucede?
23. ¿Por qué un cuerpo descendiendo por un plano inclinado en presencia de aire, experimenta continuamente una disminución de su energía potencial gravitatoria, mientras que su energía cinética aumenta al principio y después permanece constante?
24. ¿Cómo cambian la energía cinética y la energía potencial de un cuerpo deslizando por un plano inclinado en el vacío? ¿Cómo se explica? ¿Qué ocurriría si hubiera aire?
25. ¿Qué variables influyen y cómo es esa influencia sobre el tiempo que tarda un péndulo en volver a la posición desde la que se deja libremente (período de oscilación), cuando se encuentra en....?
- a) El vacío.
- b) El aire.
26. La simulación presenta un vehículo desplazándose en línea recta con velocidad constante. En su interior, se deja caer libremente un cuerpo en un cierto instante. Previamente, se ha dibujado una marca en el suelo del vehículo que indica donde caería el cuerpo si el vehículo estuviera parado. ¿Dónde caerá el cuerpo cuando el vehículo esté en movimiento rectilíneo uniforme?
27. El programa de simulación permite que el móvil deje un rastro o traza, de manera que cada cierto tiempo, siempre el mismo, un punto es dibujado en la posición ocupada por el móvil en ese instante. Describe el tipo de traza que van dejando los siguientes móviles:

- 
- a) Un cuerpo en caída libre sin rozamiento.
  - b) Un cuerpo se desplaza en línea recta sin que actúe sobre él ninguna fuerza.
  - c) Un cuerpo que ha recibido un impulso
  - d) Un cuerpo sometido constantemente a una fuerza
  - e) Un cuerpo sometido a una fuerza pequeña y otro sometido a una fuerza mayor
28. ¿Qué relación hay entre el módulo de la velocidad del móvil y la distancia entre puntos consecutivos de la traza que va dejando?
29. Describe el movimiento de los siguientes móviles:
- a) Un cuerpo que ha recibido un impulso y está sometido a rozamiento.
  - b) Un cuerpo que está sometido constantemente a una fuerza y a rozamiento.
  - c) Dos cuerpos sometidos a rozamiento, uno de ellos ha recibido un impulso inicial y el otro está sometido constantemente a una fuerza.
30. Describe la fuerza(s), indicando su dirección y sentido, que actúa(n) sobre los siguientes cuerpos situados en una región del espacio con gravedad cero y sometidos a rozamiento:
- a) Un cuerpo que ha recibido un impulso.
  - b) Un cuerpo sometido a una fuerza constante.
31. Describe la fuerza(s), indicando su dirección y sentido, que actúa(n) sobre un cuerpo lanzado verticalmente hacia arriba bajo la acción de la gravedad en:
- a) El vacío.

b) El aire

32. ¿En qué se diferencian....?

a) Las gráficas espacio-tiempo de dos cuerpos sometidos a distintos impulsos iniciales.

b) Las gráficas velocidad-tiempo de dos cuerpos sometidos a distintos impulsos iniciales.

c) Las gráficas velocidad-tiempo de un cuerpo sometido a un impulso inicial y de otro sometido a una fuerza constante.

33. En un MRUA, ¿la gráfica espacio-tiempo es una línea recta?

34. En un lanzamiento vertical hacia arriba, ¿qué forma tiene la gráfica velocidad-tiempo?

35. Si un cuerpo se deja caer libremente y otro idéntico es lanzado verticalmente hacia abajo, ¿cuál llega con más velocidad al suelo si el medio en el que se mueven es...?

a) Vacío.

b) Aire.

36. En el vacío un cuerpo se deja caer libremente y otro idéntico es lanzado verticalmente hacia abajo. ¿Cuál de los dos está más acelerado?

37. En el vacío, dos cuerpos de igual masa se lanzan verticalmente desde la misma altura y con la misma velocidad inicial, uno hacia arriba y el otro hacia abajo. ¿Cuál llega al suelo con más velocidad?

## **Anexo II: Test sobre conceptos**

1.- ¿Puede un cuerpo moverse sin que actúe sobre él una fuerza? ¿Por qué?

2.- En caso afirmativo, ¿el cuerpo se movería indefinidamente? ¿Por qué?

3.- Si sobre un cuerpo aplicamos una fuerza de igual módulo y dirección pero de sentido opuesto a la fuerza de rozamiento, ¿se moverá el cuerpo? ¿Por qué?

4.- Si dos bolas de acero y del mismo tamaño se dejan caer desde distintos aviones que vuelan siempre a la misma altura, aunque uno más rápido que el otro, ¿cuál de las dos bolas llegará antes al suelo?

Dibuja las fuerzas que actúan sobre un balón lanzado verticalmente hacia arriba:

5.- Cuando se encuentra ascendiendo

6.- Cuando alcanza la máxima altura

7.- Cuando se encuentra descendiendo, una vez alcanzada la máxima altura.

Si dejamos caer dos botellas de plástico iguales, una llena de agua y otra vacía, desde la misma altura respecto del suelo en el vacío:

8.- Dibuja la(s) fuerza(s) que actúa(n) sobre las botellas.

9.- ¿Sobre cuál actúa una fuerza mayor?

10.- ¿Cuál caerá con mayor aceleración?

11.- ¿Cuál llegará antes al suelo?

12.- ¿Cuál llegará al suelo con mayor velocidad?

13.- ¿Un cuerpo se mueve siempre en la dirección y sentido de la fuerza aplicada? Justifica la respuesta con un ejemplo.

Un paracaidista durante su caída desde el avión

14.- ¿aumenta la velocidad indefinidamente? ¿Por qué?

15.- Dibuja la(s) fuerza(s) aplicada(s) sobre el paracaidista.

Un tren circula por una vía recta a velocidad constante. En un vagón hay un pequeño agujero en el suelo, y en el techo, justo encima del agujero, hay un tornillo.

16.- El tornillo se suelta. ¿Dónde cae y por qué?

17.- Dibuja la trayectoria del tornillo.

Un barco navega a 30 Km/h en un lago en calma. Una bola se deja caer desde lo alto del palo mayor.

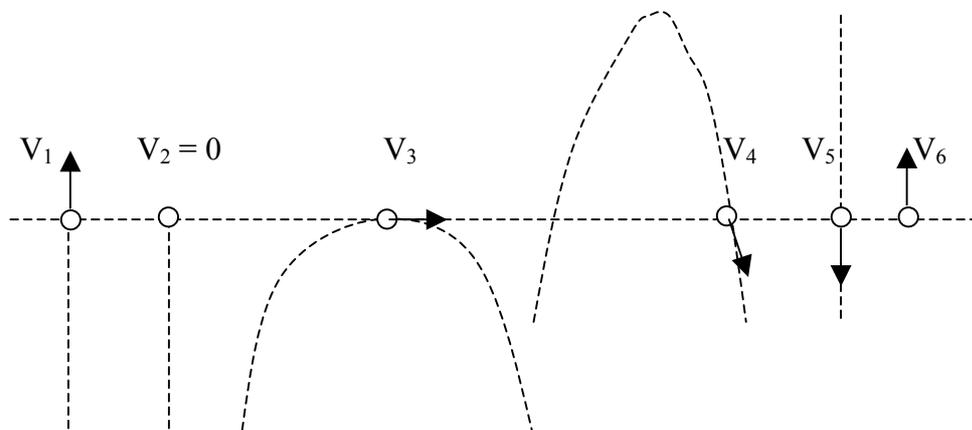
18.- ¿Dónde caerá la bola y por qué?

19.- Dibuja la trayectoria.

20.- Si el barco se desplazara a 60 Km/h, ¿dónde caería la bola?

21.- ¿Cómo sería su trayectoria?

22.- Un malabarista juega con 6 bolas idénticas. En un determinado momento, las seis bolas están a la misma altura, con trayectorias y velocidades como muestra la figura. Las fuerzas que actúan sobre las bolas, ¿son iguales o diferentes? Justifica tu respuesta.



**Anexo III: Lista de control para la evaluación del software**

**NOTA:** Rodea la abreviatura que mejor refleje tu opinión, según el siguiente criterio: **MA** = Muy de Acuerdo; **A** = De Acuerdo; **D** = En Desacuerdo; **MD** = Muy en Desacuerdo.

ÍTEM	VALORACIÓN			
	MA	A	D	MD
1. El contenido es preciso				
2. El contenido tiene valor educativo				
3. El contenido se ajusta a la programación de la asignatura				
4. El programa aprovecha distintas modalidades de aprendizaje (visual, numérico, verbal)				
5. El programa dispone de información clara e inteligible para el profesor				
6. El programa dispone de información clara e inteligible para el alumno				
7. El programa concuerda con mi filosofía de la educación				
8. Las fichas de trabajo constituyen una forma útil de aprovechar el programa				
9. La información que el programa facilita al profesor sobre la actuación de los alumnos es útil				
10. Los objetivos didácticos están bien definidos				
11. Las destrezas previas requeridas por el programa son apropiadas para la población de estudiantes a la que se dirige				
12. El programa estimula la creatividad				
13. Las variables utilizadas en la simulación son las más relevantes				
14. La presentación del contenido es clara y lógica				
15. El nivel de dificultad del programa es adecuado para los estudiantes a los que se dirige				
16. Los gráficos y el color se utilizan por motivos instructivos adecuados				

ÍTEM	VALORACIÓN			
	MA	A	D	MD
17. El alumno controla la velocidad y la sucesión de las presentaciones				
18. La enseñanza con el programa se integra con la experiencia previa del alumno				
19. El programa es lo bastante flexible para que pueda aplicarse en diversas situaciones de enseñanza y aprendizaje				
20. Los alumnos a los que se dirige pueden trabajar con el programa con facilidad y de forma independiente				
21. Describir los aspectos más positivos del programa				
22. Describir los aspectos más negativos del programa				
23. ¿Qué premisas sobre el aprendizaje y el modo de aprender de los estudiantes se aprecian en el programa?				
24. ¿El programa es autosuficiente o requiere la intervención del profesor?				

#### **Anexo IV: Situaciones problemáticas para familiarizar a los alumnos con la metodología hipotético-deductiva.**

1.- Llegamos a casa, no hay nadie, y encontramos agua en el suelo, saliendo por debajo de la puerta del baño, que está cerrada.

¿Qué piensas? = Hipótesis

¿Qué harías? = Estrategia para contrastar la hipótesis

Todos los grifos están cerrados y hay una gran mancha de humedad en el techo, desde donde caen gotas de agua

¿Qué pensarías ahora? = Nueva hipótesis

¿Cómo comprobarías si tienes razón? = Nueva estrategia de contraste de hipótesis

El vecino del piso de arriba no tiene agua en el baño

¿Cómo se explicaría lo ocurrido? = Otra hipótesis

¿Cómo podría comprobarse tu explicación? = Otra estrategia de contraste

El vecino del piso de abajo llama a la puerta y te pide una explicación de lo que está pasando. ¿Qué dirías?

2.- En una determinada ciudad, gran número de jóvenes se reúnen las noches de todos los fines de semana en una plaza. Los vecinos se quejan ante el ayuntamiento por las molestias originadas por estos jóvenes. Plantea una estrategia para resolver este problema.

3.- En la comarca del poniente almeriense, cada vez hay una mayor demanda de agua para uso agrícola, mientras que la cantidad de agua subterránea disponible disminuye. Plantea una estrategia para resolver este problema.

4.- En un vivero se ha adquirido una planta exótica y se quiere averiguar las condiciones óptimas para su crecimiento. Se dispone de un número suficiente de macetas para experimentar. Se quiere saber cómo influye la temperatura, la cantidad y el tipo de abono y la luminosidad.

a) ¿Qué diseños experimentales se realizarían?

b) ¿Qué otras variables crees que podrían influir en el desarrollo de la planta y cómo se podría evaluar su influencia?

5.- ¿Cómo mediríamos el tiempo con una pequeña bola metálica y un hilo? ¿Cómo comprobarías la eficacia del artilugio como reloj?

6.- En un plano inclinado, ¿cómo comprobarías qué cuerpos caen más deprisa, los más densos o los más ligeros?

### **Anexo V: Test de Penichet y Mato.**

El siguiente test tiene por objeto recoger información acerca de lo que piensas sobre la ciencia, los conocimientos científicos y las asignaturas de ciencias. Para cada una de las afirmaciones y, según tu criterio, puedes marcar:

*A, si estás totalmente de acuerdo; B, si estás de acuerdo; C, si no tienes opinión definida; D, si estás en desacuerdo; y E, si estás totalmente en desacuerdo*

1. El estudio de las ciencias experimentales es el que con más agrado realizo.

A B C D E

2. El estudio de las ciencias experimentales me resulta algo pesado porque no le veo utilidad.

A B C D E

3. Me gusta resolver problemas relacionados con las ciencias experimentales.

A B C D E

4. Me resulta desagradable estudiar las asignaturas de ciencias experimentales.

A B C D E

5. Me interesa el estudio de las ciencias experimentales porque lo considero importante como preparación para encontrar un puesto de trabajo.

A B C D E

6. No me gustan las asignaturas de ciencias experimentales porque su estudio me resulta difícil.

A B C D E

7. Las asignaturas de ciencias experimentales sólo sirven para suspender y obtener malas notas.

A B C D E

8. Considero que las asignaturas de ciencias experimentales deberían tener más importancia en la enseñanza.

A B C D E

9. Todo aquello relacionado con las ciencias experimentales lo encuentro interesante.

A B C D E

10. Las clases de ciencias experimentales se me hacen aburridas y pesadas.

A B C D E

11. Las asignaturas de ciencias experimentales las considero importantes porque me ayudan a reflexionar mejor para mi futura profesión.

A B C D E

12. El estudio de las ciencias experimentales me produce satisfacción.

A B C D E

13. Normalmente desconecto en la clase de ciencias experimentales.

A B C D E

**Anexo VI : test de García**

El siguiente test tiene por objeto recoger información acerca de lo que piensas sobre la ciencia, los conocimientos científicos y las asignaturas de ciencias. Para cada una de las afirmaciones y, según tu criterio, puedes marcar:

*A, si estás totalmente de acuerdo; B, si estás de acuerdo; C, si no tienes opinión definida; D, si estás en desacuerdo; y E, si estás totalmente en desacuerdo*

1. Los fenómenos naturales pueden ser explicados por un múltiple número de causas.

A B C D E.

2. Dos personas ante los mismos datos y hechos pueden hacer observaciones diferentes.

A B C D E

3. Existen diferentes formas de dar solución a los problemas que el profesor propone en las clases y a los problemas que nos presentan los libros.

A B C D E

4. Los conceptos científicos pueden y deben ser aplicados para explicar e interpretar situaciones y problemas de la vida diaria.

A B C D E

5. Dos equipos de investigación diferentes trabajando sobre el mismo problema pueden llegar ambos a resultados bastante concluyentes, pero totalmente diferentes; por eso, sus miembros deben admitir enfrentarse a la confrontación con los otros resultados.

A B C D E

6. Los fenómenos y las situaciones experimentadas por un objeto deben ser estudiados teniendo en cuenta las relaciones entre éste y los demás objetos.

A B C D E

7. El trabajo en grupo es mucho más productivo para el aprendizaje y la producción de conocimiento que el trabajo individual.

A B C D

8. Los obstáculos y las dificultades que se encuentran al realizar una tarea o solucionar un problema en clase de ciencias no son causas suficientes para abandonar el trabajo y preferir preguntar al profesor.

A B C D E

9. El estudio de las ciencias naturales puede ser mucho más agradable que el estudio de las otras asignaturas.

A B C D E

10. Las ciencias experimentales en el colegio y en el instituto deberían tener más importancia y ser tomadas más en serio de lo que usualmente se toman.

A B C D E

11. Cuando se soluciona un problema en clase de ciencias, es conveniente reunir otros datos diferentes a los dados por el problema y a los solicitados por él.

A B C D E

En los siguientes enunciados debes marcar la opción de respuesta que te parezca más correcta (sólo una).

12. La construcción de los conocimientos científicos puede explicarse desde:

- a) las teorías, sus ecuaciones y principios;
- b) lo que decidan por consenso los científicos destacados;
- c) los hechos y los datos que por observación aporta la experiencia;
- d) el pensamiento sobre la realidad, que permite transformarla y elaborar modelos de ella.

13. La tarea que realizan los hombres de ciencia va dirigida hacia:

- a) determinar las leyes que rigen el mundo;
- b) crear nuevas realidades mediante el estudio de la naturaleza;
- c) idear modelos que nos permitan entender los fenómenos naturales.

14. Las soluciones propuestas por la ciencia a los problemas son válidas para ti porque:

- a) siempre pueden ser reemplazadas por otras más acertadas;
- b) provienen de la obtención de muchos datos y de la realización de varias observaciones y experimentos;
- c) explican de manera más adecuada los fenómenos naturales y dan la posibilidad de proponer alternativas para el desarrollo de la ciencia vigente.

15. El progreso de la ciencia puede ser:

- a) limitado, debido a que el mundo tiene un orden perfecto y, al determinarlo, ya no se produciría más conocimiento.

- b) ilimitado, ya que, según la cultura y la historia de los pueblos, las teorías podrían ser interpretadas de muchas formas diferentes.
  
- c) ilimitado, porque, cada vez que la ciencia resuelve un problema, aparece un nuevo problema cuya resolución hará crecer el conocimiento.

**Anexo VII: test de Vázquez y Manassero**

En los siguientes enunciados debes marcar la opción de respuesta que te parezca más correcta (opción 1 u opción 2), así como la(s) explicación(es) que más te convenza(n).

1.1. *Muchos modelos científicos (p.e., el modelo del átomo o del ADN) son metáforas o relatos útiles; no deberíamos creer que estos modelos son copias exactas de la realidad.*

1.2. *Muchos modelos científicos (p.e., el modelo del átomo o del ADN) son copias exactas de la realidad.*

- A. Dentro de sus limitaciones, los modelos son útiles para aprender y explicar.
- B. Los modelos cambian con el tiempo y con el estado de nuestro conocimiento, como lo hacen las teorías.
- C. Los modelos pueden representar algunas propiedades de la realidad que los científicos observan.
- D. Los modelos nos ayudan a comprender mediante metáforas de una parte de la realidad.
- E. La exactitud de un modelo no puede darse por supuesta.
- F. Los modelos son verdaderos para siempre; ése es su objetivo.
- G. Muchos modelos son copias exactas de la realidad porque hay evidencias científicas que los prueban como verdaderos.
- H. Los científicos dicen que son verdaderos; luego, deben ser verdaderos.

---

Cuando los científicos clasifican alguna cosa (p.e., un vegetal según su especie, un elemento según la tabla periódica o la energía según su fuente), los científicos están clasificando la naturaleza según:

2.1. *La forma como la naturaleza es realmente; cualquier otra forma sería simplemente errónea.*

2.2. *Una clasificación que fue originalmente creada por otros científicos; por tanto, podría haber muchas formas más correctas de clasificar la naturaleza.*

- A. Ya que la ciencia va unida al cambio, los nuevos descubrimientos pueden conducir a diferentes esquemas de clasificación.
- B. La ciencia no es nunca exacta por lo que podría haber errores o ambigüedades en las clasificaciones actuales.
- C. La naturaleza es tan diversa que necesita más de una clasificación.
- D. Nadie puede conocer la forma como es realmente la naturaleza; uno debe inferir a partir de ciertos indicios.
- E. Podría haber otras formas, ya que las clasificaciones están hechas por el hombre.
- F. Hay muchas formas de clasificar, pero el acuerdo sobre un sistema permite a los científicos evitar la confusión en su trabajo.
- G. Los científicos se concentran en las características relevantes cuando clasifican, de modo que cualquier otra forma sería equivocada.
- H. La clasificación equipara la forma en que la naturaleza es realmente.
- I. Si muchos años de trabajo llevan a los científicos a una clasificación que han comprobado, entonces la clasificación debe ser correcta.

*3.1. Cuando las investigaciones científicas se hacen correctamente, los científicos descubren conocimiento que no cambiará en los años futuros (p.e. el conocimiento de las estructuras del átomo o del ADN).*

*3.2. Aun cuando las investigaciones científicas se hagan correctamente, el conocimiento que los científicos descubren puede cambiar en el futuro (p.e. el conocimiento de las estructuras del átomo o del ADN).*

- A. El conocimiento científico ha cambiado siempre con el tiempo.
- B. El conocimiento científico cambia cuando nuevos científicos desaprovechan las teorías de viejos científicos.
- C. Las mejoras tecnológicas en los aparatos científicos conducirán a cambios en el conocimiento y las teorías.
- D. Lo que parece ser una investigación correcta puede resultar más tarde que contiene errores.
- E. Los experimentos correctamente hechos deben producir datos absolutos, pero las interpretaciones y aplicaciones están sujetas a cambios.
- F. Los conocimientos nuevos se añaden a los conocimientos anteriores, pero los conocimientos anteriores no cambian.

*4.1. Los mejores científicos son aquéllos que siguen las etapas del método científico.*

*4.2. Los mejores científicos no se encierran en sí mismos siguiendo las etapas del método científico, sino que usan cualquier procedimiento que pueda serles útil.*

- A. El método científico asegura resultados válidos y precisos.
- B. Basado en lo que se aprende en la escuela, el método científico debería funcionar en el laboratorio.

- C. Son la originalidad y la creatividad, además del método científico, los que hacen los mejores científicos.
- D. El método científico no asegura resultados; por tanto, los mejores científicos deben usar también otros métodos.
- E. El progreso de la ciencia con frecuencia ocurre cuando los científicos son libres para emplear cualquier método que pueda tener resultados favorables

5.1. *Un científico puede jugar al tenis, ir a fiestas o a conferencias con otros científicos o no-científicos. Puesto que estos contactos sociales pueden influir sobre el trabajo del científico, los contactos sociales pueden influir en el contenido del conocimiento científico que descubre.*

5.2. *Aunque un científico puede jugar al tenis, ir a fiestas o a conferencias con otros científicos o no-científicos, estos contactos sociales no influyen sobre el trabajo del científico y, por tanto, estos contactos sociales no tienen efecto sobre el contenido del conocimiento científico que descubre.*

- A. Los contactos sociales siempre influyen en el trabajo de una persona, independientemente de su ocupación.
- B. Los contactos sociales influyen en el contenido de lo que se descubre porque un científico puede ser ayudado, incorporando las ideas, experiencias o entusiasmo de aquéllos con quienes se relaciona.
- C. Los contactos sociales pueden servir como una pausa refrescante y relajante del trabajo, revitalizando al científico y, por tanto, influyendo sobre el contenido de lo que se descubre.
- D. Los contactos sociales influyen el contenido de lo que se descubre porque un científico puede ser animado a aplicar o cambiar su investigación hacia una nueva área, relevante para las necesidades humanas de la sociedad.

- E. Los contactos sociales no influyen el contenido de lo que se descubre porque el trabajo del científico es objetivo y no está relacionado con los estímulos sociales.

*Cuando los científicos no están de acuerdo en un tema (p.e., si un bajo nivel de radiación es perjudicial o no), discrepan principalmente:*

*6.1. Porque no disponen de la misma información.*

*6.2. Porque tienen valores morales diferentes.*

*6.3. Porque tienen motivaciones personales diferentes (p.e., complacer a sus jefes o querer una beca de investigación del gobierno).*

- A. Puesto que los datos científicos conducen a una conclusión correcta, los desacuerdos pueden ocurrir cuando no se han descubierto todos los datos.
- B. Los sentimientos personales y los valores morales no influyen en las decisiones de los científicos, pero sí lo hacen los datos científicos y las teorías.
- C. Los científicos no se dejan influir normalmente por motivos personales; sus opiniones están basadas en hechos observables y el conocimiento científico.
- D. Ya que las decisiones están basadas en la conciencia del científico sobre los datos, los desacuerdos pueden ocurrir cuando en diferentes científicos son conscientes de datos distintos.
- E. Los desacuerdos suceden en parte por los diferentes valores morales, pero principalmente porque los datos científicos son diferentes o incompletos.
- F. Los desacuerdos ocurren porque los científicos interpretan de modo distinto los datos o la significación de esos datos.
- G. Las opiniones de muchos científicos confían tanto en sus valores morales como en los datos científicos disponibles.

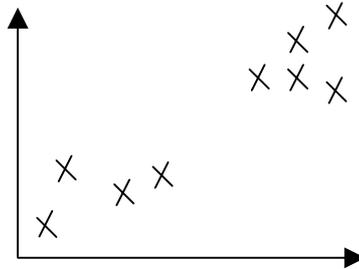
- 
- H. Los desacuerdos ocurren por las diferentes opiniones, puntos de vista o teorías sobre el tema.
- I. Los desacuerdos ocurren por los valores morales, preferencias o ideas políticas de los individuos.
- J. Los desacuerdos ocurren por los diferentes valores causados por diferente educación.

### **Anexo VIII: Test de conocimiento informático**

1. ¿Tienes ordenador? En caso afirmativo, ¿qué tiempo sueles utilizarlo diariamente?
  
2. ¿Qué conocimientos tienes de informática?
  - a) Procesador de textos:
  
  - b) Hoja de cálculo:
  
  - c) Programas didácticos:
  
  - d) Correo electrónico:
  
  - e) Webs:
  
  - f) Lenguajes de programación:
  
  - g) Programas de uso específico:
  
3. ¿Qué opinión tienes de la informática?
  
4. ¿Qué opinas acerca de la utilización del ordenador en las clases de física y química?

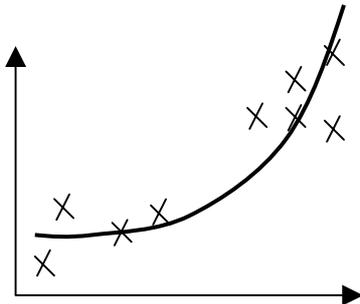
### Anexo IX: Cuestión sobre el uso del ordenador por los científicos

Dos investigadores, Ana y Pepe, deben trabajar sobre la misma serie de datos representados por la siguiente gráfica:

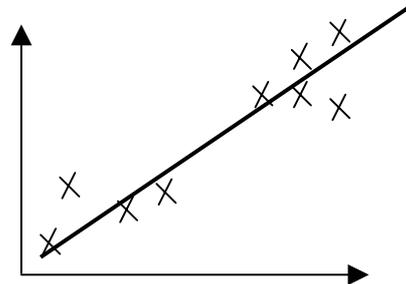


Cada uno de ellos da una interpretación distinta acerca del comportamiento del fenómeno estudiado.

#### Interpretación de Ana



#### Interpretación de Pepe



- ¿Cómo explicarías el hecho de que las gráficas de los investigadores sean diferentes?
- Si los investigadores pudieran encontrarse y discutir, ¿qué argumentos crees que utilizarían?
- ¿Podría un ordenador ayudar a resolver el problema?

---

**Anexo XI: Test sobre procedimientos**

1.- María quería descubrir si la temperatura tiene un efecto sobre el crecimiento del moho del pan. Cultivó el moho en nueve recipientes conteniendo la misma cantidad y tipo de nutrientes. Tres recipientes se mantuvieron a 0° C, otros tres a 90° C y los otros tres a temperatura ambiente (alrededor de 27° C). Los recipientes fueron examinados y el crecimiento del hongo del pan fue registrado pasados cuatro días.

La variable dependiente en este experimento es:

- 1.- Crecimiento del moho del pan.
- 2.- Cantidad de nutrientes en cada recipiente.
- 3.- Temperatura de los recipientes.
- 4.- Número de recipientes a cada temperatura.

2.- Un profesor está preocupado por los accidentes escolares. Plantea la hipótesis de que la difusión de información sobre medidas de seguridad reducirá los accidentes escolares. Este profesor decide probar su hipótesis en cuatro institutos. Cada instituto utilizará un número distinto de posters sobre seguridad escolar, para comprobar si el número de accidentes se reduce. En cada instituto se registrará el número de estudiantes que deben ser atendidos a causa de algún accidente.

¿Cómo se mide la cantidad de información sobre medidas de seguridad en este estudio?

- 1.- Número de estudiantes que deben ser atendidos a causa de accidentes escolares
- 2.- Número de institutos involucrados
- 3.- Número de posters sobre seguridad escolar en cada instituto.

#### 4.- Número de accidentes escolares

3.- Juan quiere encontrar qué podría afectar a la longitud de una planta de judía. Coloca una judía envuelta en un trozo de tela húmeda en diez tubos de ensayo idénticos. Cinco de estos tubos son situados en una ventana soleada y los otros cinco en un frigorífico resguardados de la luz. Juan mide las longitudes de las plantas de judía de cada grupo después de una semana.

¿Cuál de las siguientes variables podría afectar a la longitud de las plantas de judía?

1.- Temperatura y humedad

2.- Humedad y longitud de los tubos de ensayo

3.- Luz y temperatura

4.- Luz y tiempo transcurrido

4.- Un estudiante está lanzando flechas de idéntica forma con un arco. Las flechas tienen distinta masa y pueden ser lanzadas con distintos ángulos. El estudiante quiere averiguar qué podría afectar a la altura alcanzada por una flecha.

¿Cuál de las siguientes es una hipótesis que podría ser comprobada por el estudiante?

1.- Las flechas previamente calentadas lograrían más altura que las no calentadas.

2.- Las flechas con el extremo puntiaguado alcanzarían más altura que las de extremo achatado.

3.- Las flechas más pesadas alcanzarían más altura que las ligeras.

4.- Los arcos más grandes lanzan a más altura las flechas que los arcos pequeños.

5.- El efecto del ejercicio físico sobre el ritmo cardíaco es estudiado en una clase de ciencias. Los estudiantes efectúan un número distinto de saltos y después se miden el ritmo cardíaco. Un grupo de estudiantes salta durante un minuto. Un segundo grupo lo hace durante dos minutos. Un tercer grupo salta durante tres minutos. Un cuarto grupo de estudiantes no salta.

¿Cómo medirías el ritmo cardíaco en este estudio?

- 1.- Contando el número de saltos por minuto.
- 2.- Contando el número de latidos del corazón en un minuto.
- 3.- Contando el número de saltos realizados por cada grupo.
- 4.- Contando el número de ejercicios realizados por cada grupo.

6.- Algunas gallinas ponen un huevo casi cada día. Otras gallinas producen pocos huevos. Un estudio es planificado para examinar los factores que podrían afectar al número de huevos producidos por las gallinas.

¿Cuál de la siguientes no es una hipótesis viable para el estudio?

- 1.- Más huevos pondrán las gallinas que reciban más horas de luz.
- 2.- Cuanto más huevos produzcan las gallinas, más peso perderán.
- 3.- Cuanto más grandes sean las jaulas, más huevos pondrán las gallinas.
- 4.- Cuanto más proteínas haya en el pienso, más huevos serán puestos.

7.- Ana investiga los factores que influyen en el tiempo que tardan los cubitos de hielo en fundir. Piensa que el tamaño de los cubitos de hielo, la temperatura de la habitación y la forma de los cubitos son factores que podrían afectar al tiempo necesario para que se derrita el hielo. Decide probar la hipótesis de que la forma de un cubito de hielo afecta al tiempo de fusión.

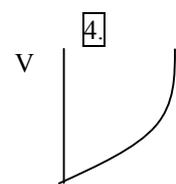
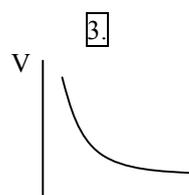
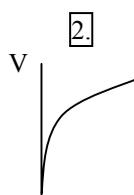
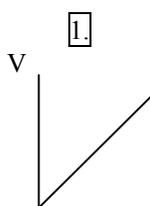
¿Qué diseño seleccionaría Ana para probar su hipótesis?

- 1.- Usar cinco cubitos de hielo, cada uno de distintas masa y forma. Usar cinco recipientes idénticos sometidos a la misma temperatura. Observar el tiempo que tardan los cubitos en derretirse.
- 2.- Usar cinco cubitos de hielo, todos con la misma forma pero con distinta masa. Usar cinco recipientes idénticos sometidos a la misma temperatura. Observar el tiempo que tardan los cubitos en derretirse.
- 3.- Usar cinco cubitos de hielo, todos con la misma masa pero con distinta forma. Usar cinco recipientes idénticos sometidos a la misma temperatura. Observar el tiempo que tardan los cubitos en derretirse.
- 4.- Usar cinco cubitos de hielo, todos con la misma masa pero con distinta forma. Usar cinco recipientes idénticos sometidos a distintas temperaturas. Observar el tiempo que tardan los cubitos en derretirse.

8.- En una clase de Física y Química se estudió la presión y el volumen con globos. Los estudiantes llevaron a cabo un experimento en el que cambiaban la presión ejercida sobre un globo y después medían su volumen. Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla:

Presión sobre el globo (N/cm <sup>2</sup> )	0'35	0'70	1'03	1'40	1'72
Volumen del globo (ml)	980	400	320	220	180

¿Cuál de los siguientes gráficos representa correctamente los datos?



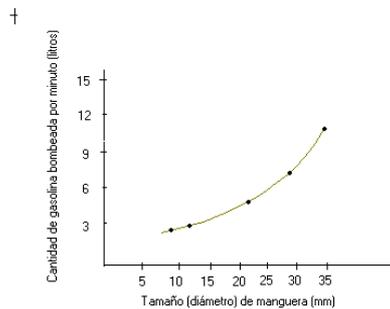
P

P

P

P

9.- Para bombear gasolina desde un tanque se utilizan mangueras de cinco tamaños distintos. La bomba empleada es la misma. El gráfico siguiente muestra las medidas realizadas en el estudio.



¿Qué enunciado describe la relación entre las variables?

- 1.- Cuanto mayor sea el diámetro de la manguera, más gasolina sería bombeada cada minuto.
- 2.- Cuanto más gasolina sea bombeada por minuto, más tiempo sería necesario.
- 3.- Cuanto menor sea el diámetro de la manguera, más gasolina sería bombeada cada minuto.
- 4.- Cuanto menor sea la cantidad de gasolina bombeada, mayor sería el diámetro de la manguera.

## Anexo XII: Test de razonamiento lógico

### INSTRUCCIONES

El cuestionario que te presentamos tiene por finalidad poder comprender mejor la lógica que usas para pensar. El razonamiento que elijas en cada respuesta se considera tan importante como la respuesta misma.

Para responder a cada pregunta marca la respuesta en la hoja que se entrega para ello. Por favor, no escribas nada en este cuadernillo.

Para responder a cada una de las cuestiones sigue los siguientes pasos:

- 1.- Lee con cuidado el enunciado de la pregunta.

2.- Piensa detenidamente la respuesta haciendo los cálculos que estimes oportunos.

3.- Escribe tu respuesta en el recuadro correspondiente de la hoja de respuesta.

Ej. 12.  Razón

4.- Lee la serie de razonamientos que se te presentan como posibles explicaciones de la respuesta que has elegido.

5.- Selecciona cuidadosamente la opción que consideres oportuna teniendo en cuenta el razonamiento que utilizaste en tu respuesta.

6.- Señala en el recuadro correspondiente de la hoja de respuesta la letra que indica la opción que has elegido.

Ej. 12.  Razón

7.- Si en algún momento quieres modificar la respuesta ofrecida, táchala y señala la nueva de la forma que se te indica a continuación:

Ej. 12.  Razón

No olvides escribir tu nombre en la hoja de respuesta.

## CUESTIÓN 1

Se necesita exprimir 4 naranjas para obtener seis vasos de zumo. ¿Qué cantidad de zumo se podría obtener con seis naranjas? (Considera que todas las naranjas son del mismo tamaño).

a. 7 vasos

- b. 8 vasos
- c. 9 vasos
- d. 10 vasos
- e. Otra respuesta

Razón:

- 1) El número de vasos y el número de naranjas estarán siempre en la relación 3 a 2.
- 2) Con más naranjas, las diferencias serán menores.
- 3) La diferencia entre las cantidades será siempre de dos.
- 4) Con cuatro naranjas la diferencia era 2. Con seis naranjas la diferencia sería dos más.
- 5) No se podría predecir.

**CUESTIÓN 2**

Usando las mismas naranjas de la cuestión 1, ¿cuántas naranjas se necesitarían para hacer 15 vasos de zumo?

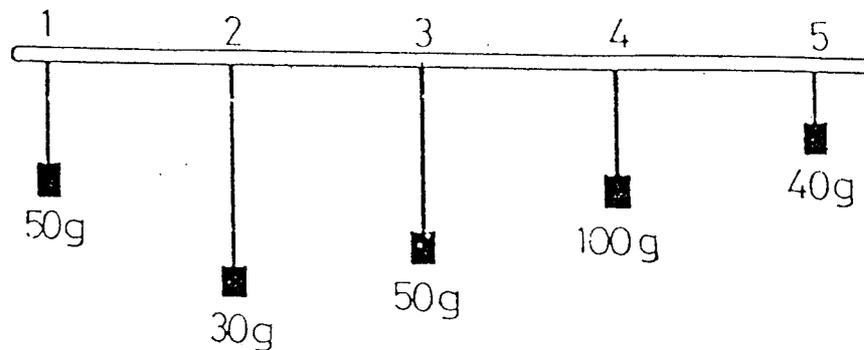
- a. 7 naranjas y media
- b. 9 naranjas
- c. 10 naranjas
- d. 13 naranjas

e. Otra respuesta

Razón:

- 1) El número de naranjas y el número de vasos de zumo estarán siempre en la relación 2 a 3.
- 2) El número de naranjas será siempre menor que el número de vasos de zumo.
- 3) La diferencia entre las cantidades será siempre de dos.
- 4) El número de naranjas necesarias será la mitad del número de vasos de zumo.
- 5) No se podría predecir.

### CUESTIÓN 3



Supongamos que queremos hacer un experimento para averiguar si al modificar la longitud de un péndulo cambia también la cantidad de tiempo que tarda en oscilar de un lado a otro. ¿Qué péndulos deberíamos usar para realizar dicha experiencia?

- a. 1 y 4
- b. 2 y 4

- c. 1 y 3
- d. 2 y 5
- e. Todos

Razón:

- 1) Compararíamos el péndulo más largo con el más corto.
- 2) Necesitaríamos comparar todos los péndulos entre sí.
- 3) Al aumentar la longitud tendríamos que disminuir el peso.
- 4) Los péndulos elegidos deberían tener todos la misma longitud y distinto peso.
- 5) Los péndulos elegidos deberían tener todos distinta longitud e igual peso.

#### **CUESTIÓN 4:**

Supongamos que queremos realizar un experimento para averiguar si al cambiar el peso del péndulo cambia también la cantidad de tiempo que tarda en oscilar de un lado a otro. ¿Qué péndulos tendríamos que usar para realizar dicha experiencia? (Usa el mismo dibujo de la cuestión 3).

- a. 1 y 4
- b. 2 y 4
- c. 1 y 3
- d. 2 y 5

e. Todos

Razón:

- 1) Compararíamos el péndulo más pesado con el más ligero.
- 2) Necesitaríamos comparar todos los péndulos entre sí.
- 3) Al aumentar el peso tendríamos que disminuir la longitud.
- 4) Los péndulos elegidos deberían tener distinto peso y la misma longitud.
- 5) Compararíamos péndulos de igual peso y distinta longitud..

#### **CUESTIÓN 5:**

Un jardinero compró un paquete que contenía 3 semillas de calabaza y 3 semillas de judía. Si se extrae una semilla del paquete, ¿cuál es la probabilidad de que ésta sea de judía?

- a. 1 de cada 2
- b. 1 de cada 3
- c. 1 de cada 4
- d. 1 de cada 6
- e. 4 de cada 6

Razón:

1. Se necesitarían cuatro extracciones dado que podría suceder que las tres semillas de calabaza se extrajesen seguidas.
2. Hay seis semillas entre las cuales ha de extraerse una de judía.
3. De las tres semillas de judías que hay se necesita extraer una.
4. La mitad de las semillas son de judías.
5. Del total de seis semillas, además de la de judía se podrían extraer tres de calabaza.

**CUESTIÓN 6**

Un jardinero compró un paquete que contenía 21 semillas de diversas clases. La composición era la siguiente:

3 de flores pequeñas rojas

4 de flores pequeñas amarillas

5 de flores pequeñas naranjas

4 de flores grandes rojas

2 de flores grandes amarillas

3 de flores grandes naranjas

Si sólo ha de plantar una semilla, ¿cuál es la probabilidad de que la planta resultante tenga flores rojas?

- a. 1 de cada 2
- b. 1 de cada 3
- c. 1 de cada 7
- d. 1 de cada 21
- e. Otra respuesta

Razón:

1. Ha de elegir una semilla entre aquellas que dan flores rojas, amarillas o naranjas.
2.  $\frac{1}{4}$  de las pequeñas y  $\frac{4}{9}$  de las grandes son rojas.
3. No importa que sean pequeñas o grandes. De las siete semillas rojas que hay se ha de elegir una.
4. Ha de seleccionar una semilla roja de un total de 21 semillas.
5. Siete de las 21 semillas darán flores rojas.

**CUESTIÓN 7**

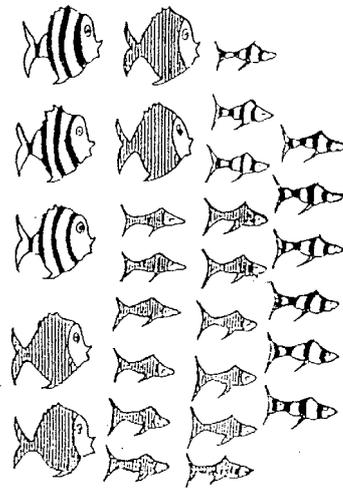
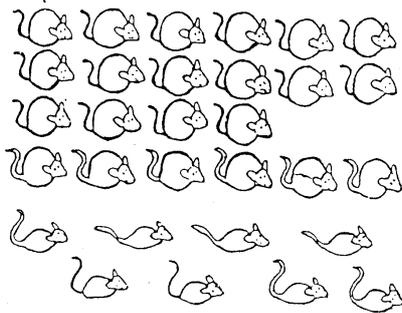
La figura adjunta representa una muestra de los ratones que viven en un campo. A partir de la figura, indica si es más probable que tengan rabo negro los ratones gordos que los delgados.

- a. Sí. Los ratones gordos tienen mayor probabilidad de tener rabo negro que los delgados.

- b. No. Los ratones gordos no tienen mayor probabilidad de tener rabo negro que los delgados.

Razón:

1.  $\frac{8}{11}$  de los ratones gordos tienen rabo negro y  $\frac{3}{4}$  de los ratones delgados tienen rabo blanco.
2. Tanto algunos ratones gordos como algunos de los ratones delgados tienen rabo blanco.
3. De los 30 ratones, 18 tienen rabo negro y 12 lo tienen blanco.
4. Ni todos los ratones gordos tienen rabo negro ni todos los delgados lo tienen blanco.
5.  $\frac{6}{12}$  de los ratones con rabo blanco son gordos.



**CUESTIÓN 8**

¿Es más probable que tengan rayas anchas los peces gordos que los peces delgados?

- a. Sí
- b. No.

Razón:

1. Unos peces gordos tienen rayas anchas y otros estrechas.
2. 3/7 de los peces gordos tienen rayas anchas.
3. 12/28 tienen rayas anchas y 16/28 las tienen estrechas.
4. 3/7 de los peces gordos y 9/21 de los peces delgados tienen rayas anchas.
5. Algunos de los peces con rayas anchas son delgados y otros son gordos.

**Anexo XIII: Encuesta de opinión sobre la experiencia**

1.- El uso de los simuladores en Física y Química es interesante

Muy de acuerdo  De acuerdo  Indiferente  En desacuerdo   
Muy en desacuerdo

2.- Trabajar en equipo ayuda a aprender más y mejor.

Muy de acuerdo  De acuerdo  Indiferente  En desacuerdo   
Muy en desacuerdo

3.- La Física y Química es más atractiva cuando se realizan actividades de investigación.

---

Muy de acuerdo  De acuerdo  Indiferente  En desacuerdo   
Muy en desacuerdo

4.- Se aprenden mejor los conceptos de Física y Química cuando se utilizan simuladores.

Muy de acuerdo  De acuerdo  Indiferente  En desacuerdo   
Muy en desacuerdo

5.- Las actividades de investigación facilitan el aprendizaje de los conceptos de Física y Química.

Muy de acuerdo  De acuerdo  Indiferente  En desacuerdo   
Muy en desacuerdo

6.- La comunicación entre el profesor y los alumnos mejora cuando se realizan actividades de investigación con simuladores.

Muy de acuerdo  De acuerdo  Indiferente  En desacuerdo   
Muy en desacuerdo

7.- El tiempo que se ha dedicado a la utilización de los simuladores ha sido

Muy excesivo  Excesivo  Adecuado  Escaso  Muy  
escaso

8.- Las actividades de investigación realizadas han sido difíciles

Muy de acuerdo  De acuerdo  Indiferente  En desacuerdo   
Muy en desacuerdo

9.- Indica con un número del 1 al 5 el nivel de dificultad (1 = muy fácil; 5 = muy difícil) de las distintas etapas del proceso de investigación:

Emisión de hipótesis       Diseño experimental       Contrastación de hipótesis

Manejo del simulador       Trabajo en equipo

10.- Propuestas de mejora en la realización de actividades de investigación con simulador

11.- Opinión general del uso de los simuladores en la enseñanza de la Física y Química.

---

**PROYECTO DE INNOVACIÓN EDUCATIVA**

**MEMORIA FINAL**

**COMPLETA6**

**TÍTULO DEL PROYECTO:**

Proyecto Intección: Integración de las Tecnologías Electrónicas de la Información en la Enseñanza de las Ciencias mediante estrategias de investigación

**Coordinador:**

José Luis Sierra Fernández. IES Hiponova. Montefrío. Granada

**Referencia del proyecto: PIN-114/02**

**Proyecto subvencionado por la Consejería de Educación de la**

**Junta de Andalucía**

**(Orden de 2 de mayo de 2002; Resolución de 5 de noviembre de 2002)**