

# El rol complementario de los dibujos en la explicitación de modelos situacionales: un estudio de caso con los estudiantes de Bachillerato sobre los movimientos



José Alfonso Manjarrez<sup>1</sup>, Cástulo Anselmo Alejo<sup>2</sup>, Josip Slisko<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Sinaloa, Preparatoria "La Cruz". Ángel Flores y Pedro Infante, CP 82700, La Cruz, Elota, Sinaloa, México.

<sup>2</sup>Centro de Ciencias de Sinaloa. Av. de las Américas 2771 Nte., Culiacán, Sinaloa, México, CP 80010.

<sup>3</sup>Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Apartado Postal 1152 Puebla, Pue. CP 72000, México.

E-mail: jamanjarrezmeza@hotmail.com

(Recibido el 25 de Junio de 2013, aceptado el 29 de Septiembre de 2013)

## Resumen

Este trabajo está sustentado en el modelo de construcción-integración para la comprensión de Kintsch. Los resultados de esta investigación nos muestran que la elaboración de dibujos es una forma de representación concreta que complementa al lenguaje verbal para representar los modelos situacionales acerca del movimiento de objetos en estudiantes de Bachillerato. También se encontró que la elaboración de dibujos, adicionalmente a su función comunicativa, sirve como herramienta de apoyo a los procesos de pensamiento, promoviendo la metacognición y la autoevaluación. Este estudio también confirma la existencia de concepciones alternativas encontradas anteriormente. Los dibujos facilitan el análisis y la interpretación de estas concepciones alternativas.

**Palabras clave:** Ideas previas de los estudiantes de Bachillerato, aprendizaje conceptual de la Mecánica, elaboración de dibujos, modelo situacional

## Abstract

This work is supported by the construction-integration model for understanding from Kintsch. The results of this research show that the production of drawings is a concrete representation that complements the verbal language to represent situational models about the movement of objects in high school students. It was found that the preparation of drawings, in addition to its communicative function, serves as a tool to support thinking processes, promoting metacognition and self-assessment. This study also confirms the existence of alternative conceptions found previously. The drawings facilitate the analysis and interpretation of these alternative conceptions

**Keywords:** High school students' preconceptions, Mechanics conceptual learning, making drawings, situational model.

**PACS:** 01.40 -d; 01.40.Fk; 01.40.ek.

**ISSN 1870-9095**

## I. INTRODUCCIÓN

El modelo de Kintsch [1, 2] establece que existen tres niveles en los procesos de lectura: el superficial (denominado *código de superficie*), que consiste en una lectura mecánica, sin comprensión, en una decodificación de los signos escritos en lenguaje oral. Otro nivel es la *base textual*, en la que el lector entiende las ideas del texto en sí mismo. Un tercer nivel es el de los *modelos situacionales*, en el cual el lector elabora una representación mental del texto, integrándolo con sus conocimientos previos [1]. En este último nivel, el sujeto, mediante inferencias, ha desactivado la información irrelevante e inconsistente, y ha reforzado los elementos apropiados contextualmente,

seleccionando la respuesta correcta de entre los resultados generados.

En el caso de este trabajo investigativo, el problema no es la comprensión de un extenso texto expositivo, sino una descripción breve de una situación relativamente sencilla. Pero a pesar de la brevedad de la descripción y la sencillez de la situación, el estudiante tiene que crear su modelo situacional. El dibujo que los estudiantes elaboran posteriormente a la verbalización, ayuda a tener una mejor idea acerca de tal modelo situacional.

Coleoni *et al.* [3] analizaron las resoluciones escritas de un problema de física, correspondientes a alumnos de nivel medio, participantes de una Olimpiada de Física. El estudio lo realizaron sobre la base de desarrollos teóricos que tienen en cuenta características propias de la

comprensión de textos de enunciados de problemas científicos. Tipificaron algunos errores encontrados vinculándolos a fallos en diferentes niveles del proceso de representación. Propusieron una categorización que sugiere la posibilidad de reinterpretar algunos errores cometidos por alumnos de física ante la actividad de resolución de problemas.

Consideran estos autores que el proceso de resolución de problemas comienza en la lectura del enunciado, resultando de interés avanzar en la descripción de ciertos aspectos de las representaciones que genera un resolutor. En el caso de los enunciados de un problema de física, entre los conocimientos previos que el lector debe poner en juego para construir su modelo situacional se encuentran los correspondientes a la disciplina, generalmente expresados mediante relaciones formales.

Al leer un enunciado de un problema de física, la posibilidad de un sujeto de construir un modelo situacional que represente el evento en términos cotidianos, u otro que involucre las relaciones formales de manera estructural, dependerá del conjunto de esquemas disponibles (calidad y cantidad) y de las estrategias de recuperación. En el primer caso, la representación habilitará al sujeto a realizar solamente predicciones de tipo cualitativo, posiblemente involucrando concepciones alternativas. En cambio, en el segundo, el sujeto tendrá posibilidades de realizar predicciones tanto cuantitativas como cualitativas y habrá generado un “modelo de problema”. El modelo de problema no contiene necesariamente datos numéricos, pero habilita incorporarlos.

Los constructos base de texto y modelo de problema se refieren a representaciones dinámicas, que son continuamente modificadas durante este proceso de resolución del problema. En trabajos realizados sobre la comprensión de textos científicos, se ha observado que los sujetos realizan modificaciones sobre las representaciones de un texto, de forma que son capaces de agregar inferencias o de suprimir información del propio texto. Resulta plausible suponer que tales mecanismos de control de la comprensión puedan tener lugar también durante el proceso de resolución de un problema. Si bien el modelado de este complejo proceso dinámico –interjuego entre representaciones e inferencias, moduladas por mecanismos metacognitivos- resultaron fuera del balance de este estudio, algunos resultados se interpretaron como señales de fallos en el control que el sujeto tiene sobre su propia comprensión.

Por otra parte, en investigaciones realizadas en diferentes ámbitos y con distintos objetivos, se ha utilizado la elaboración de dibujos como fuente de la información acerca de los esquemas de los sujetos. Galagovsky y Bekerman [4], por ejemplo, llevaron a cabo una indagación con estudiantes de Bachillerato (de entre 15 y 17 años de edad). La investigación consistió en realizar una serie de 10 experimentos sencillos (sobre el tema “disoluciones” en la asignatura Química) para que luego los estudiantes explicaran lo ocurrido, organizando textos y dibujos. Encontraron que algunas de sus respuestas erróneas en los dibujos que elaboraron son resultado de un deficiente

procesamiento de la información de los lenguajes de la Química (verbal, gráfico, etc.), generando obstáculos epistemológicos.

Por su parte, Stipcich, Moreira y Caballero [5] investigaron las representaciones mentales que estudiantes preuniversitarios, a punto de ingresar en la Universidad, emplean para otorgar significado al concepto de interacción (gravitatoria, eléctrica y magnética). Les pidieron a los sujetos entrevistados que respondieran de forma escrita y mediante esquemas o dibujos, a algunas situaciones en las que se involucra la interacción entre cuerpos. Algunos de sus resultados fueron que sus dibujos se vinculan de diferente manera al texto escrito. En algunos casos, el texto se constituye en una explicación que detalla el esquema, en otras, en cambio, se trata de dos lenguajes totalmente autónomos.

En el campo de la Astronomía, Grande *et al.* [6] desarrollaron un trabajo con el propósito de conocer las representaciones que sobre el Universo presentaban un grupo de 66 estudiantes de primer año (12-13 años) de una escuela secundaria privada de la ciudad de Mar del Plata. Para la recolección de los datos se solicitó que realizaran un dibujo y que colocaran las referencias. Sus resultados mostraron que el modelo predominante es el heliocéntrico seguido por el modelo acéntrico siendo el geocéntrico el de menor porcentaje.

Por su parte, Gil y Martínez [7] exploraron e interpretaron las ideas de estudiantes de Magisterio acerca de los movimientos de la Tierra y de la Luna y sus consecuencias, utilizando sus representaciones gráficas y los textos que las acompañan. Las conclusiones a las que arribaron fueron: hay una falta de comprensión del modelo Sol-Tierra-Luna; los estudiantes tienen severas dificultades en expresarse mediante dibujos; hay que evitar el refuerzo del carácter de entretenimiento que tienen las imágenes, procurando que las tareas de análisis y elaboración de las mismas en la escuela no se asocien siempre a lo lúdico; el alumnado debe desarrollar sus propias destrezas icónicas para explicar los conceptos y que se deben emplear también imágenes, siempre que sea posible, en tareas de evaluación.

En el terreno de la Geología, Lillo [8] analizó los errores conceptuales a partir de las expresiones gráficas de los estudiantes, encontrando que la detección de las concepciones erróneas de los dibujos de los alumnos nos permite tener evidencia de que algunos conceptos erróneos podrían pasar inadvertidos al interpretar sólo sus expresiones verbales (orales o escritas).

En el ámbito de la educación ambiental, Arto [9] estudió las representaciones sociales de cambio climático (CC) y el deterioro de la capa de ozono en 809 estudiantes de Educación Primaria y Educación Secundaria Obligatoria de Galicia, España, empleando para ello una metodología de investigación basada en el dibujo y el texto libre.

En el campo de investigación sobre las ideas sobre el ambiente Torres-Nerio, Domínguez-Cortinas, van't Hooft, Díaz-Barriga y Cubillas-Tejeda [10] utilizaron el dibujo como una herramienta para conocer la percepción de los niños sobre la exposición a riesgos ambientales en una comunidad rural-indígena y en una comunidad urbano-

marginada. Los resultados obtenidos indicaron que los niños perciben la mayoría de las problemáticas ambientales detectadas con anterioridad por el grupo de investigación encabezado por esta investigadora y se encontraron diferencias por comunidad.

Las anteriores investigaciones son una muestra de la gran variedad de ámbitos en los que se ha recurrido a la elaboración de dibujos como instrumento para recoger la información de los sujetos.

## **II. LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN, EL METODO DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y LA MUESTRA ESTUDIANTIL**

Un problema concreto de la práctica docente, más allá de que los esquemas de los estudiantes sean erróneos desde el punto de la Física, es que no son capaces de comunicar verbalmente sus ideas acerca del movimiento de los objetos. Por tanto, es relevante preguntarse:

¿Hasta dónde algunas de las ideas previas que encontramos en los estudiantes -entendidas como esquemas arraigados, que no coinciden con el punto de vista científico- son realmente tales, y no deficientes verbalizaciones o dibujos mal elaborados, originados no por poseer esquemas incorrectos, sino por la carencia de competencias lingüísticas adecuadas o de un buen nivel de inteligencia espacial para representar adecuadamente mediante palabras o dibujos sus esquemas?

Lo que nos interesa en este trabajo es indagar:

¿Qué relaciones existen entre el lenguaje verbal y los dibujos que utilizan los estudiantes de Bachillerato en la explicitación de sus esquemas sobre el movimiento de los objetos?

Este trabajo es de corte cualitativo. Para acopiar la información, aplicamos entrevistas semi-estructuradas, presentando algunos problemas verbales físicos de tipo abierto sobre el movimiento de objetos, en diferentes contextos situacionales, que difieren con respecto a la intensidad del campo gravitacional y la presencia o ausencia de las fuerzas de fricción. Les solicitamos a los estudiantes que elaboraran dibujos, además de sus descripciones y explicaciones verbales. Los estudiantes investigados fueron 28 estudiantes de primer grado (15-16 años de edad) del nivel Bachillerato, que estaban matriculados en la escuela Preparatoria "La Cruz", de la Universidad Autónoma de Sinaloa, México. En ese grado, no habían tomado ningún curso de Física en preparatoria, sólo los cursos que llevaron en el nivel Secundaria.

## **III. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

En este apartado presentamos y analizamos algunas de las respuestas verbales y sus correspondientes dibujos, en cada una de las situaciones.

### **A. Modelos situacionales de movimiento en un contexto cotidiano**

Los problemas-verbales físicos que se les plantearon a los estudiantes, en los casos de lanzamiento horizontal e inclinado, en un contexto cotidiano fueron:

- a) "Supón que tienes una piedra en la mano y la lanzas de forma horizontal/inclinada. ¿Qué pasa con la piedra?" y
- b) "Supón que al estar girando de forma horizontal una piedra atada a una cuerda, se rompe ésta. ¿Qué pasa con la piedra?"

Desde la mecánica newtoniana se establece que cuando un objeto es lanzado horizontalmente o de forma inclinada, describe una trayectoria prácticamente parabólica. Se dice que "prácticamente" ya que existe una muy pequeña influencia de la fuerza de fricción de la atmósfera. Su velocidad tiene, en los dos casos, una componente horizontal constante durante todo el movimiento y una componente vertical, que va cambiando en proporción lineal con respecto al tiempo transcurrido (en el lanzamiento horizontal va aumentando conforme cae el cuerpo, y en el inclinado disminuye cuando sube, hasta ser nula, y posteriormente aumenta conforme cae).

Con respecto al movimiento circular, la mecánica clásica lo describe de la siguiente manera: cuando la cuerda se rompe, si observamos el movimiento desde un plano vertical, el objeto se movería de la misma manera que en un lanzamiento horizontal.

Si observamos desde un plano horizontal, veríamos una trayectoria recta tangencial a la trayectoria circular que tiene la piedra antes de que se rompa la cuerda. Las fuerzas que actúan en estas situaciones son la fuerza de fricción debida a la atmósfera y la fuerza de gravedad, considerando en el movimiento circular un instante posterior al que se rompe la cuerda.

En adelante se mostrarán algunos ejemplos de descripciones y explicaciones proporcionadas por los estudiantes así como sus correspondientes dibujos. Para el lanzamiento horizontal en un contexto cotidiano, tenemos el siguiente ejemplo:

*Estudiante 27:* "Cae [...] porque aquí en la Tierra sí hay fuerza de gravedad y el peso hace que caiga."

La proposición verbal construida para resolver el problema en la parte descriptiva ("cae") podría interpretarse en el sentido de que el objeto se mueve verticalmente hacia abajo desde la posición desde donde se lanza, o pudiera dársele alguna otra interpretación. Sin embargo, al analizar el modelo de situación que construye este estudiante mediante su dibujo (Figura 1), notamos que no existe una plena complementariedad entre ambos tipos de representación.

El dibujo aclara mejor sus ideas, complementando lo que dice con palabras. El modelo de situación en el dibujo es mucho más preciso y amplio: el objeto se desplaza un tramo horizontal y, abruptamente, cae verticalmente.

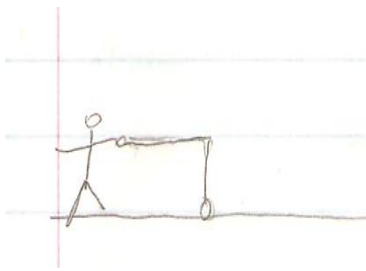


FIGURA 1. La trayectoria horizontal que se vuelve vertical.

En el formato verbal, su atención se centra en la parte vertical del movimiento, descuidando los demás aspectos del movimiento, mientras que en el dibujo describe más integralmente el movimiento. En este ejemplo, la función del dibujo es completar los vacíos dejados por el lenguaje verbal. Podemos mencionar que este estudiante no posee la idea de independencia entre las componentes horizontal y vertical de la velocidad, por lo que dibuja un tramo horizontal y un tramo vertical [11].

Es claro que el modelo situacional construido por este estudiante -como ocurre con todos los modelos situacionales de los estudiantes presentados aquí- no concuerda con la mecánica newtoniana. Se observa aquí la concepción alternativa en la que no se considera a las componentes horizontal y vertical del movimiento como independientes, sino que primero se manifiesta el movimiento horizontal y después el movimiento vertical. En la historia de la Física esta idea persistió muchos siglos y fue muy difícil modificarla por la teoría newtoniana. Lo interesante es que se sigue detectando todavía en muchos estudiantes. No es fortuito que esto ocurra, sino que existen elementos epistemológicos que es necesario comprender para diseñar estrategias didácticas para acercar esas concepciones alternativas a las que se sustentan desde la comunidad científica.

En lo que se refiere al lanzamiento inclinado hacia arriba en un contexto cotidiano, un ejemplo es el siguiente:

*Estudiante 13:* “Avanza y luego cae en línea recta.”

Al estar observando su propio dibujo, y dando detalles verbales de su descripción, este estudiante corrigió la parte de la trayectoria vertical hacia abajo, sustituyéndola por una línea curva, manifestando lo siguiente:

*Estudiante 13:* “¡Ah! O a la mejor puede que caiga también así, como en curva.”

Su dibujo (que incluye las dos variantes) quedó como sigue (Figura 2):

La forma proposicional de la primera respuesta verbal es ambigua, ya que la proposición “avanza” admite varias interpretaciones, al no indicar la dirección ni el sentido del movimiento. Su dibujo delinea una primera parte del movimiento, en forma de trayectoria recta inclinada hacia arriba. La siguiente proposición “y luego cae en línea recta” está mejor definida y concuerda con su dibujo.

Advertimos que este estudiante no tiene una total certidumbre en sus afirmaciones, sino que considera las dos variantes (que caiga verticalmente hacia abajo o que se

mueva en línea curva) como eventos que tienen la misma posibilidad de ocurrir. En estas dos acciones - aparentemente tan similares- de dibujar o una línea vertical hacia abajo o una línea curva, están implícitos diferentes procesos mentales -como inferencias, entre otros- que los sujetos realizan al elaborar sus modelos de situación; se apoyan en sus conocimientos y experiencias acerca de las situaciones físicas planteadas, en sus conocimientos sobre el lenguaje (verbal y visual) y sobre la Física como disciplina científica para formular sus modelos de situación.

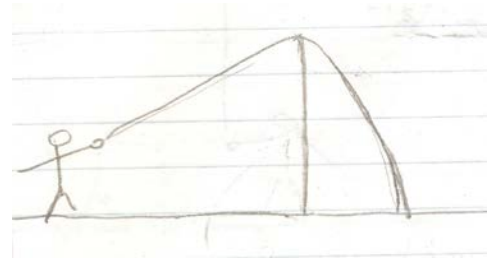


FIGURA 2. La trayectoria inicial y corregida.

En este ejemplo se revela claramente el hecho, ya planteado por Kintsch [1, 2], de que los sujetos, al resolver un problema, activan y desactivan permanentemente “nodos” de conocimientos, emitiendo diferentes hipótesis, hasta encontrar la que es pertinente y correcta -desde su particular punto de vista- en la situación contextual dada.

Este es un ejemplo ilustrativo también de cómo, al momento de dibujar el movimiento de objetos, los estudiantes tienen la oportunidad, debido al mayor tiempo de procesamiento de la información, de reconsiderar sus descripciones y explicaciones, originándose procesos metacognitivos. Algunos estudiantes más también llevaron a cabo estos procesos de metacognición en el transcurso de las entrevistas en esta investigación.

También se observa la concepción alternativa de la no independencia de las componentes del movimiento, aunque en este estudiante el primer tramo es inclinado y el otro tiende a ser vertical; además, se observa que está en proceso de poseer un esquema que se acerca más a lo que plantea la teoría newtoniana, ya que corrige un poco su dibujo dándole una forma cuasiparabólica.

En cuanto al movimiento circular en un contexto cotidiano, tenemos como ejemplo el siguiente caso:

*Estudiante 7:* “[La piedra se mueve] por la fuerza que le estamos aplicando a los movimientos de la mano. La piedra se desplazaría por el aire. [...] Dependiendo de la fuerza con que la piedra se haya roto [sic] en ese momento, la piedra seguiría avanzando hasta caer en el suelo. Cuando va a caer, es cuando se terminó su fuerza, y por eso es que cae.”

Analizando sus proposiciones verbales, encontramos que son muy ambiguas. Por ejemplo: “la piedra se desplazaría por el aire” no precisa la dirección del movimiento, ni su sentido. Así mismo, “la piedra seguiría avanzando hasta caer en el suelo” no especifica de qué forma concreta es ese avance y esa caída.

Su dibujo (Figura 3) aumenta la nitidez de su modelo situacional, que consiste en que el objeto se mueve un primer tramo en la misma trayectoria circular que tenía antes de que se rompiera la cuerda y, posteriormente, va cayendo describiendo una trayectoria curva hasta hacerse vertical.

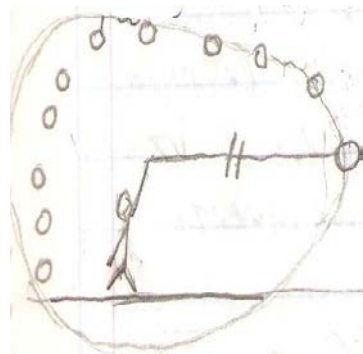


FIGURA 3. La trayectoria circular con un tramo vertical.

Este estudiante posee la concepción alternativa de “inercia circular” [12] entendido como la idea de que el objeto que se mueve circularmente, se seguirá moviendo con esa misma trayectoria, aunque desaparezca la fuerza que causa ese tipo de movimiento, en este caso, la tensión de la cuerda. También en su respuesta: “Cuando va a caer, es cuando se terminó su fuerza, y por eso es que cae” se encuentra la concepción alternativa de transmisión de fuerza, es decir, considerar que la fuerza se transmite al objeto y que se agota como si fuera un “combustible” [13, 14].

En ciertas situaciones de movimiento, como en este caso, sería importante pedirles a los estudiantes que elaboraran dibujos pensando en diferentes sistemas de referencia, por ejemplo en un plano horizontal y en uno vertical, con el fin de ilustrar mejor sus modelos situacionales, disminuyendo la posibilidad de caer en ambigüedades. Pero estas competencias comunicativas mediante dibujos con diferentes sistemas de referencia deben ser enseñadas y aprendidas, no son espontáneas ni automáticas. Esto tiene relación con el desarrollo de su inteligencia espacial y visual.

### B. Situaciones de movimiento en un contexto hipotético en el que no existe la atmósfera de la Tierra

Los problemas-verbales que se les plantearon a los estudiantes aquí fueron:

a) “Supón que tienes una piedra en la mano, en la Tierra sin atmósfera, y la lanzas de forma horizontal/inclinada. ¿Qué pasa con la piedra?”

b) “Supón que en la Tierra sin atmósfera, al estar girando de forma horizontal una piedra atada a una cuerda, se rompe ésta. ¿Qué pasa con la piedra?”

La descripción, desde la mecánica newtoniana, del movimiento de un objeto lanzado horizontal y de forma

inclinada, en un contexto físico de planeta Tierra sin atmósfera es semejante al descrito en el apartado anterior para un contexto cotidiano, nada más quitándole la palabra “aproximadamente”, ya que, al no haber atmósfera, no hay fuerza de fricción provocada por ella.

En cuanto al movimiento circular en este contexto físico, la mecánica clásica lo describe de la siguiente manera: Cuando la cuerda se rompe, si observamos el movimiento desde un plano vertical, el objeto se movería de la misma manera que en un lanzamiento horizontal, tal como ya lo describimos en el contexto anterior, pero sin el término “aproximadamente”.

Si observamos desde un plano horizontal, veríamos una trayectoria recta tangencial a la trayectoria circular que tiene la piedra antes de romperse la cuerda. La única fuerza que actúa en estas situaciones es la fuerza de gravedad, considerando en el movimiento circular un instante posterior al que se rompe la cuerda.

Un ejemplo de descripción y explicación, así como el dibujo correspondiente, para el lanzamiento horizontal en un contexto sin atmósfera fue:

*Estudiante 11:* “Al no haber atmósfera, no hay fuerza de gravedad [...] [La piedra] siguiera flotando.”

Vemos que la proposición verbal “siguiera flotando” es muy indefinida, ya que se puede interpretar de diversas formas. Podemos entenderlo como que el objeto se queda en la misma posición desde donde se lanzó, o pudiéramos pensar que asciende verticalmente, o de forma inclinada, o en cualquier otra dirección o sentido.

No obstante, con su dibujo, este estudiante define mejor su descripción, complementándola. Su modelo situacional (Figura 4) es que el objeto se mueve en la misma dirección y sentido en que fue lanzado, es decir, horizontalmente. Aparece la concepción alternativa de que “si no hay atmósfera, no hay fuerza de gravedad” [15].

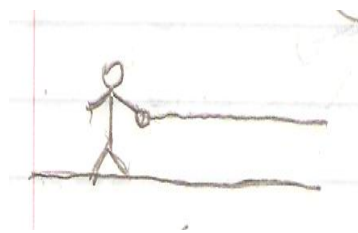
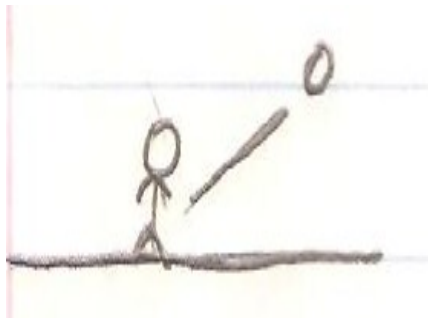


FIGURA 4. La trayectoria horizontal como descripción complementaria de la “flotación”.

Ahora analicemos algunas respuestas y dibujos para el lanzamiento inclinado en un contexto sin atmósfera:

*Estudiante 5:* “La aviento con una velocidad rápida, disminuye al momento, y ahí se queda como paralizada.”

Este estudiante no explicita la trayectoria que lleva el objeto, solo habla de la velocidad. Sin embargo, el dibujo es complementario al respecto (Figura 5):



**FIGURA 5.** La trayectoria recta en dirección de la velocidad inicial.

Cabe recordar que en el lenguaje científico formal gráfico de la Física se utilizan líneas rectas o curvas para representar trayectorias. Asimismo, para representar gráficamente distancias recorridas, se emplea el recurso de dibujar el móvil sucesivamente, con una determinada separación. Para representar velocidades se emplean vectores -mediante flechas-. Este recurso gráfico no fue utilizado por ninguno de los estudiantes entrevistados. Para representar rapidez, a lo que se recurre también en el lenguaje de la Física es a dibujar el móvil sucesivamente con una determinada separación, pero forzosamente se tiene que indicar verbalmente que el intervalo de tiempo es el mismo entre una posición y otra del objeto.

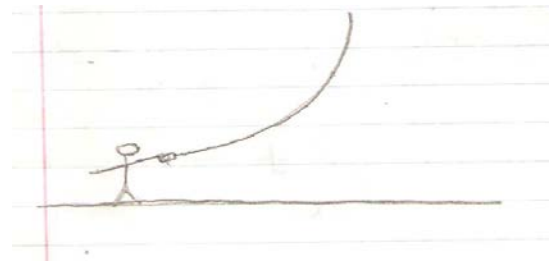
El objeto se dibuja a una misma distancia, si se quiere representar rapidez constante, o a diferentes distancias, si lo que se requiere es representar cambios en la rapidez. Sería conveniente diseñar una forma gráfica aunque sea informal, adicional a los vectores, para simbolizar velocidades, y utilizarla en los dibujos para la enseñanza y el aprendizaje de la mecánica newtoniana.

La respuesta de este estudiante, en el sentido de que la “velocidad rápida, disminuye al momento, y ahí se queda como paralizada” tiene implícita la concepción alternativa de que “si no hay atmósfera no hay fuerza de gravedad”.

Continuando con los ejemplos de respuestas y dibujos para el lanzamiento inclinado en un contexto sin atmósfera, tenemos lo siguiente:

*Estudiante 13:* “Pues sería igual pero aquí sería curva; yo creo hasta que se va hacia arriba.”

Al decir “sería igual” se refiere a la descripción que realizó del lanzamiento inclinado pero en un contexto cotidiano (ver dibujo más arriba). Podríamos pensar que la descripción sería exactamente igual que en este contexto, pero sus palabras posteriores y su dibujo (Figura 6) nos revelan que no es así. Aún así, las proposiciones verbales que construyó no son suficientes para describir claramente su representación mental, tal y como lo demuestra el dibujo que elaboró, ya que traza una trayectoria curva cóncava hacia arriba. En la respuesta: “yo creo hasta que se va hacia arriba” está también implícita la concepción alternativa de que “si no hay atmósfera no hay fuerza de gravedad”



**FIGURA 6.** La trayectoria rectilínea que posteriormente se curva hacia arriba.

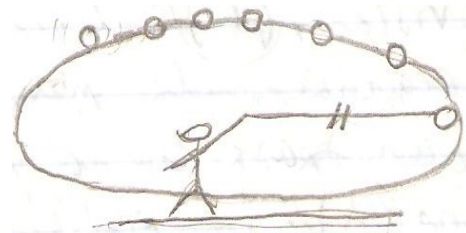
Los resultados hasta aquí abordados, nos permiten percatarnos de que, al explorar los esquemas de los estudiantes, es necesario que no nos conformemos con sus primeras proposiciones verbales, sino que es prudente darles tiempo para reflexionar, para que puedan construir modelos de situación más ricos y pertinentes al contexto de la situación abordada en el problema, en concordancia con lo que manifiesta Kintsch [1, 2]. Incluso, al elaborar sus dibujos, es conveniente, por estos mismos motivos, pedirles que reflexionen un poco más en su primer dibujo, para que, eventualmente, encuentren contradicciones o incoherencias en sus modelos de situación.

Una respuesta sobre el movimiento circular, considerando que no existe la atmósfera, fue la siguiente:

*Estudiante 7:* “La piedra avanzaría por un lado, hasta que se termine su fuerza y se quedaría flotando.”

La proposición verbal “La piedra avanzaría por un lado” es muy ambigua. ¿Qué significa “por un lado”? Este estudiante lo sabe, pero quien escucha su afirmación no podría representarse la idea que él tiene. Si inspeccionamos su dibujo (Figura 7), nos damos cuenta con una mayor claridad cómo es su representación mental.

Su modelo de situación consiste en que el objeto se mueve en la misma trayectoria circular que poseía antes de romperse la cuerda y que se queda flotando. Al responder “hasta que se termine su fuerza” nos permite considerar que posee también la concepción alternativa de “la fuerza como combustible”.



**Figura 7.** La trayectoria circular completa después de romperse la cuerda.

### C. Dibujos y respuestas verbales en situaciones hipotéticas de contexto lunar

Las preguntas-problema en este apartado fueron las siguientes:

a) Supón que estás parado en la Luna. Tienes una piedra en la mano y la lanzas de forma (horizontal/ inclinada). ¿Qué pasa con la piedra?

b) Supón que estás parado en la Luna. Al estar girando de forma horizontal una piedra atada a una cuerda, se rompe ésta. ¿Qué pasa con la piedra?

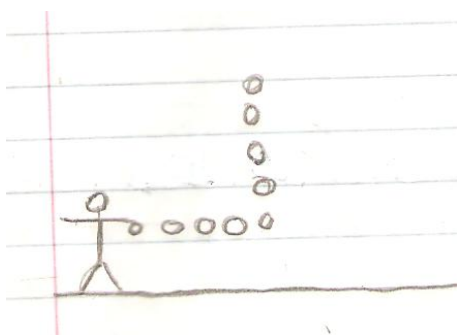
En lo que concierne a este contexto, la mecánica clásica establece que la trayectoria sería la misma que en un contexto de planeta Tierra sin atmósfera, solo que la aceleración sería menor, debido a que en la Luna la fuerza de gravedad es menor.

Algunos ejemplos de explicaciones verbales y dibujos proporcionados por los estudiantes para la situación de lanzamiento horizontal, en un contexto físico hipotético lunar, fueron las siguientes.

*Estudiante 16:* “Se elevaría para arriba porque hay gravedad en la Luna y no puede estar en un lugar así. Directamente la piedra no se iría de forma horizontal, sino hacia arriba.”

La proposición “Se elevaría para arriba” no define la posición desde la cual se elevaría. Y su proposición: “Directamente la piedra no se iría de forma horizontal, sino hacia arriba” se puede interpretar como que el objeto se elevaría desde la posición desde la cual se lanza, sin moverse ninguna distancia horizontal.

Sin embargo, el dibujo (Figura 8) nos especifica que la piedra sí se mueve una determinada distancia horizontal y, después, de manera repentina, asciende verticalmente.

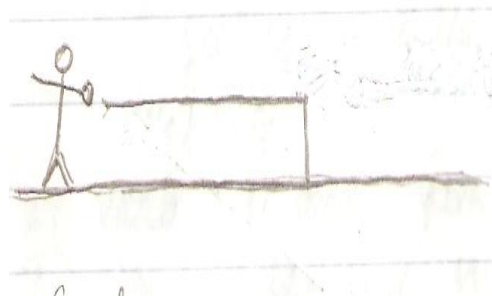


**FIGURA 8.** La trayectoria horizontal que se vuelve vertical.

*Estudiante 24:* “Se va a caer.”

La mínima verbalización del modelo situacional “se va a caer” podría comprenderse como que la piedra caería verticalmente desde la posición desde donde se lanzó, pero su dibujo (Figura 9) proporciona una explicitación complementaria según que la piedra se mueve un tramo horizontal y, abruptamente, cae verticalmente.

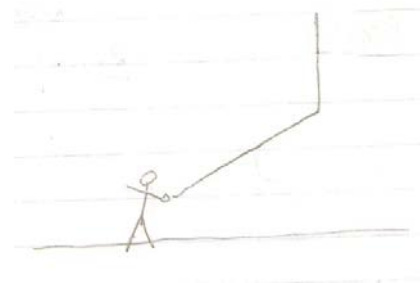
Es notable que, cuando el modelo situacional que poseen los estudiantes sobre el movimiento del objeto posee una parte en que el objeto cae o sube, en sus proposiciones verbales se manifiesta una fuerte concentración de su atención en esa caída o ascenso, desatendiendo las otras partes del movimiento, como se manifiesta en este ejemplo y en otros más.



**FIGURA 9.** La trayectoria horizontal que se vuelve vertical en el contexto lunar.

En lo referente al lanzamiento inclinado en un contexto hipotético lunar, una respuesta verbal y su dibujo (Figura 10) eran:

*Estudiante 24:* “Pues se iría así y de ahí para arriba.”



**FIGURA 10.** Trayectoria inclinada que se vuelve vertical.

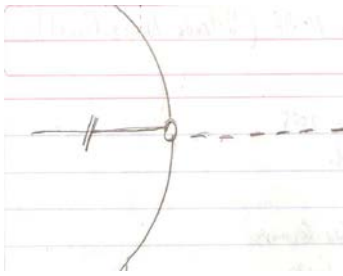
Al expresarse este estudiante también empleó sus manos para describir el movimiento. Este es un ejemplo de cómo algunos estudiantes recurren al lenguaje gestual como forma de representación concreta complementaria para apoyar sus descripciones y explicaciones, lo que ocasiona que descuiden sus proposiciones verbales.

Con respecto al movimiento circular, en un contexto hipotético lunar, tenemos como ejemplo la siguiente verbalización del modelo situacional:

*Estudiante 4:* “Va a salir volando a... va a recorrer una distancia. Puede que salga de la superficie lunar y avance un poco en el espacio o puede que caiga en una parte de la Luna. Depende de la velocidad que lleva la piedra.”

Sus proposiciones verbales “Va a salir volando a... va a recorrer una distancia” dejan mucho que desear en cuanto a su claridad respecto a la trayectoria del objeto y otros elementos descriptivos del movimiento del objeto. Se nota inseguridad en sus aseveraciones.

Su dibujo (Figura 11) complementa bastante su descripción. La trayectoria del objeto la representa mediante líneas discontinuas y revela que el movimiento sería en la dirección de la cuerda en el momento de rompimiento.



**FIGURA 11.** La trayectoria de la piedra después del rompimiento de la cuerda.

Obviamente, ese estudiante no sostiene ni la idea científica ni la concepción alternativa de la “inercia circular”. Sin embargo, no define como sería el “avance” del objeto o su posible caída.

#### IV. CONCLUSIONES

Tal parece que las personas creemos inconscientemente que los demás están pensando e interpretando lo mismo que nosotros cuando les comunicamos algo, por lo que no cuidamos la precisión y claridad del lenguaje verbal. Por tanto, cuando describimos y explicamos el movimiento de los objetos, utilizamos un lenguaje verbal confuso, impreciso, poco detallado y superficial, y después nos asombra que no se nos entienda lo que decimos.

El dibujo puede jugar el papel de precisar y aclarar a los demás nuestras representaciones mentales. Tenemos que tener siempre presente que nuestros pensamientos no son transparentes para los demás; con frecuencia, las ideas que expresamos en las situaciones escolares son confusas, poco definidas, superficiales y, a veces, erróneas desde el punto de vista científico, no porque nuestros modelos mentales sean incorrectos científicamente -lo cual ocurre también muy a menudo- sino porque no cuidamos la precisión en nuestra comunicación verbal, convirtiéndonos en una fuente de ideas incorrectas. Muy probablemente esta es una de las razones para que, incluso los alumnos destacados académicamente, no aprendan la Física como pretendemos.

Deberíamos preguntarnos constantemente:

¿Qué nos están entendiendo los estudiantes cuando les explicamos los conceptos, las leyes y las teorías científicas?  
¿Qué se están representando mentalmente cuando les describimos y explicamos, por ejemplo, el movimiento de los objetos, desde la teoría de la mecánica newtoniana?

Por todas estas razones, debemos promover las competencias comunicativas en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, que nos lleven a lograr la habilidad -tanto los profesores como los estudiantes- de utilizar un lenguaje con características científicas: objetivo, breve, claro, preciso, ordenado, sencillo y con estilo impersonal [16].

Las distintas formas de representación concreta del modelo situacional son complementarias por deficiencia. Por su propia naturaleza, ninguna forma es suficiente para expresar todos los elementos de un modelo situacional. Por

esta razón, en la ciencia se utilizan distintas formas de representación -lenguaje verbal, matemático, gráfico, entre otros- para explicitar de manera más clara los conceptos, leyes y teorías científicas que se construyen.

Los resultados de este trabajo ilustran la necesidad de que en los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias se utilicen diversas formas de representación (lenguaje verbal, dibujos, esquemas, maquetas, prototipos, entre otros) que jueguen un rol complementario en la construcción de los modelos situacionales por parte de los estudiantes, y que favorezcan y estimulen el desarrollo y aprendizaje de competencias comunicativas.

La elaboración de dibujos es una herramienta didáctica muy útil en el aprendizaje y la enseñanza de la Física y de las demás ciencias. Cuando los estudiantes elaboran dibujos complementan el lenguaje verbal, detallan, amplían y profundizan sus descripciones y explicaciones sobre el movimiento de los objetos.

El dibujo se asemeja más a la escritura que al lenguaje oral. Cuando dibujamos, plasmamos de una manera concreta nuestras ideas, lo que nos permite convertirlas en objeto de nuestro pensamiento, propiciando una mayor toma de conciencia sobre lo que explicitamos y la detección de ciertos errores, deficiencias o contradicciones en nuestras ideas, si las comparamos con las que sustenta la comunidad científica; es decir, eventualmente se llevan a cabo procesos metacognitivos.

La elaboración de dibujos no sólo cumple una función comunicativa, sino que también son un apoyo para los procesos de pensamiento, ya que, una vez realizados, son útiles como instrumento de heteroevaluación, coevaluación y autoevaluación.

Si a los estudiantes se les proporciona tiempo suficiente para procesar la información, elaboran modelos situacionales mucho más ricos y realizan mejores inferencias en sus procesos de comprensión. Por esta razón, pensamos que la falta de correspondencia entre lo que los estudiantes expresan verbalmente y lo que dibujan se debe -al menos en parte- a que, al dibujar, se les está dando más tiempo para reflexionar, lo que no ocurre cuando se les pide una respuesta oral, que tiene que ser inmediata. Por lo tanto, la clase de inferencias que las personas realizan, y la manera en que construyen un modelo situacional, depende fundamentalmente de la cantidad de procesamiento. Si hay tiempo y está motivada, la gente construye modelos de situación ricos; pero esto es un proceso creativo que exige esfuerzo, no es un tipo de activación automática.

Los resultados de este trabajo son preocupantes porque nos muestran que muchos estudiantes no son capaces ni siquiera de describir adecuadamente los movimientos que observamos cotidianamente, menos explicarlos desde el punto de vista newtoniano. Este estudio también confirma la existencia de ciertas concepciones alternativas encontradas anteriormente: la idea de no independencia de las componentes horizontal y vertical del movimiento; “inercia circular”; “si no hay atmósfera, no hay fuerza de gravedad”; y la fuerza como “combustible”. Los dibujos facilitan el análisis y la interpretación de estas concepciones alternativas.



No obstante, este no es un problema reciente, sino que en la historia de la Física se registra lo difícil que fue para los mismos científicos describir y explicar adecuadamente los fenómenos de movimiento. Por esta razón, es prioritario seguir investigando todos los factores que intervienen en el aprendizaje de la mecánica newtoniana para avanzar en el reto permanente de mejorar los procesos instructivos y educativos en todas sus facetas.

## REFERENCIAS

- [1] Kintsch, W., *The Role of Knowledge in Discourse Comprehension: A Construction-Integration Model*, *Psychological Review* **2**, 163-182 (1988).
- [2] Kintsch, W., *The Construction-Integration Model of Text Comprehension and Its Implications for Instruction*. In R.B. Ruddell, & Unrau, N. J. (Eds.), *Theoretical Models and Processes of Reading*, (International Reading Association, Newark, DE, 2004), pp. 1270-1328.
- [3] Coleoni *et al.*, *La construcción de la representación en la resolución de un problema de física*, *Investigações em Ensino de Ciências* **3**, 285-298 (2001).
- [4] Galagovsky, L. y Bekerman, D., *La química y sus lenguajes: un aporte para interpretar errores de los estudiantes*, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* **3**, 952-975 (2009).
- [5] Stipcich, M., Moreira, M. y Caballero C., *Una interpretación de las opiniones de ingresantes a la universidad sobre la noción de interacción*, *Revista Electrónica de Enseñanza de las ciencias* **1**, 1-31 (2004).
- [6] Grande, E., Charrier, M. y Vilanova, S., *Las representaciones de los alumnos de secundaria sobre el universo*, II Jornadas de Enseñanza e Investigación en el campo de las Ciencias Exactas y Naturales, 28 al 30 de Octubre de 2009, La Plata. Un espacio para la reflexión y el intercambio de experiencias. (2009). Disponible en: [http://www.fuentesmemoria.fahce.unlp.edu.ar/trab\\_eventos/ev.604/ev.604.pdf](http://www.fuentesmemoria.fahce.unlp.edu.ar/trab_eventos/ev.604/ev.604.pdf). [Consultado en Julio de 2012].
- [7] Gil, M. J. y Martínez, M. B., *El modelo Sol-Tierra-Luna en el lenguaje iconográfico de estudiantes de Magisterio*, *Enseñanza de las ciencias* **2**, 153-166 (2005).
- [8] Lillo, J., *Análisis de errores conceptuales en Geología a partir de las expresiones gráficas de los estudiantes*, *Enseñanza de las ciencias* **1**, 39-44 (1994).
- [9] Arto Blanco, M. El cambio climático narrado por alumnos de educación primaria y secundaria: propuesta de análisis para dibujos y textos. En: *Investigar para avanzar en Educación Ambiental*. Serie educación ambiental. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, pp. 11-29, (2009).
- [10] Torres-Nerio, R., Domínguez-Cortinas, G., Van't Hooft, A., Díaz-Barriga Martínez, F. y Cubillas-Tejeda, A. C., *Análisis de la percepción de la exposición a riesgos ambientales para la salud, en dos poblaciones infantiles, mediante la elaboración de dibujos*, *Salud Colectiva* **1**, 65-81 (2010).
- [11] Pozo, J. I. y Gómez Crespo, M. A., *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*, (Ediciones Morata, España, 2000).
- [12] Covián, E. y Celemín M., *Diez años de evaluación de la enseñanza-aprendizaje de la Mecánica de Newton en escuelas de Ingeniería españolas. Rendimiento académico y presencia de preconcepciones*, *Enseñanza de las ciencias* **1**, 23-42 (2008).
- [13] Bliss, J., Ogborn, J. y Whitelock, D., *Secondary school pupils' commonsense theories of motion*, *International Journal of Science Education* **3**, 261-272 (1989).
- [14] Viennot, L., *Spontaneous Reasoning in Elementary Dynamics*, *European Journal of Science Education* **2**, 205-221 (1979).
- [15] Alís, J. C., *El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (parte I). Análisis sobre las causas que la originan y/o mantienen*, *Revista Eureka sobre Enseñanza y divulgación de las Ciencias* **2**, 183-208 (2005).
- [16] De la Vega, F. C., *La comunicación científica*, (Instituto Politécnico Nacional, México, 1997).