

EL USO DE IMÁGENES EXTERNAS Y LA VISUALIZACIÓN MENTAL: UN ESTUDIO DE CASO

Maria Rita Otero*

rotero@exa.unicen.edu.ar

Marco Antonio Moreira†

moreira@if.ufrgs.br

Resumen

Este trabajo investigó cómo las imágenes externas (estáticas, animaciones, simulaciones y applets) afectan -facilitan, dificultan o inhiben- la construcción de representaciones mentales adecuadas para comprender, explicar y predecir en Física, particularmente en el tema Oscilaciones. Se adoptó la idea de representación mental y de modelo mental propuesta por Johnson-Laird (1983, 1990, 1996). Considerando las investigaciones de la Psicología Cognitiva sobre la imagen mental (Kosslyn, 1986, 1996) y sobre las concepciones de imaginamiento mental inspiradas en las teorías usuales de la imagen. Esas teorías adoptan una formulación espacial y cinemática de las imágenes mentales, que no resulta adecuada para describir el imaginamiento físico dinámico. Se discuten las diferencias entre imágenes mentales y modelos mentales, señalando porqué los modelos mentales son necesarios para explicar el imaginamiento mental y la modelización mental. Se adopta la formulación de imaginamiento dinámico propuesta por Schwartz (1999) y la noción de "*depictive model*" del mismo autor. Los modelos pictóricos para el imaginamiento dinámico explican como y bajo qué condiciones las personas consiguen simular "*en su cabeza*" las acciones de los objetos físicos y realizar inferencias que sólo les resultan accesibles por esa vía.

Se describe un caso para analizar los efectos de las representaciones visuales con soporte informático (animaciones, simulaciones y *applets*) en la representación mental. Los resultados muestran que las visualizaciones dinámicas "on-line" de los estudiantes no fueron afectadas por el software y que tampoco se modificaron sustantivamente sus representaciones pictóricas externas como dibujos de los sistemas físicos. Los resultados muestran que las visualizaciones dinámicas ocurrirían cuando los sujetos se enfrentan a una situación que conciben como "nueva" y acerca de la cual no poseen información conceptual, ni disponen de información perceptiva para derivar la respuesta.

1. *Introducción*

¿Cómo enfrentan los estudiantes de la escuela media preguntas acerca de una situación de física? ¿Basan sus respuestas en representaciones mentales visuales o en representaciones proposicionales? ¿Cómo seleccionan aquellas que van a utilizar? Suele argumentarse que cuando los estudiantes enfrentan un problema o situación física dada, "eligen" primero qué esquema o qué fórmula aplicar, realizando una comprensión cualitativa y luego responden actualizando uno o más esquemas que recuperan de su memoria. Otra posibilidad, es que a veces la comprensión y la resolución de la situación se desarrolla a través de la construcción "on line" de un modelo mental pictórico (Schwartz, 1999) que captura la información contenida en la situación y la simula mentalmente.

* Departamento de Formación Docente. Facultad de Ciencias Exactas. UNICEN. Argentina

† Instituto de Física. UFRGS. Brasil

Los modelos pictóricos, son representaciones mentales del mundo físico que intervienen en los procesos de visualización mental dinámica, cuya importancia reside en que permiten sacar conclusiones -inaccesibles en ese momento por otras vías- cuando no se sabe cómo se comportará un cierto sistema físico y no se dispone de alternativas perceptivas que permitan obtenerlas, ni tampoco de alternativas empíricas (Schwartz & Black, 1996; Schwartz & Cooper, 1998; Schwartz, 1999). Como las inferencias acerca del comportamiento de un sistema físico originadas en el imaginamiento dinámico sacan a luz informaciones "encapsuladas en representaciones analógicas" que originalmente el sujeto no puede expresar en otra forma, los individuos las exteriorizarían mediante gestos referidos a la situación como movimientos con sus manos y hasta con su cuerpo. Esos movimientos les ayudarían a "internalizar" en tiempo real, las acciones que mentalmente están simulando entre los objetos imaginados y las consecuencias de esas acciones (Schwartz & Black, 1996). Por el contrario, cuando las conclusiones se obtienen con base en otro tipo de representaciones mentales, por ejemplo modelos mentales que subyacen al imaginamiento cinemático, o cuando ni siquiera hay imaginamiento mental, tales acciones no serían observadas, porque no serían necesarias.

En este trabajo presentamos resultados parciales de un estudio de caso cuyo objetivo fue describir la interacción entre un estudiante de física y un profesor durante varios encuentros en los cuales se trabajó con simulaciones referidas al tema Oscilaciones. El estudio se realizó en el marco de una investigación más amplia acerca de los posibles efectos de las representaciones visuales externas (imágenes estáticas, animaciones simulaciones y *applets*) sobre la representación mental (Otero, 2002, Otero, Moreira y Greca 2002 a y b; Otero, Greca y Silveira, 2002 a y b).

II. Modelos Mentales, Imágenes mentales, Imaginamiento Físico e Imágenes Externas

En otros trabajos hemos realizado una diferenciación progresiva entre las representaciones externas y el tipo de representación interna del conocimiento que ellas pueden generar, cuestionando las creencias de sentido común de lo que denominamos Psicología popular. Hemos considerado cómo la tendencia equivocada que parece asociar directamente una representación externa con su codificación interna, influye en los textos que se formulan para enseñar (Otero, Moreira, Greca, 2002). También chequeamos la hipótesis de si un tratamiento tradicional, relativamente limitado a "mirar" las imágenes cuando se enseña, podría influir en el rendimiento escolar en Física, cuando se proponen situaciones nuevas que requieren explicar y predecir, obteniendo que el tratamiento realizado no afectó el rendimiento de los sujetos del grupo experimental, en correspondencia con nuestras expectativas y con las predicciones que podíamos realizar a partir de nuestro marco teórico (Otero, Greca y Silveira, 2002 a y b).

La idea de que la teoría usual de imágenes mentales (Kosslyn, 1986, 1996, Metzler & Shepard, 1974) conduce a modelos teóricos para el imaginamiento mental centrados en aspectos espaciales y perceptivos- que no serían plenamente adecuados para describir el proceso de imaginamiento físico- ha sido sostenida por Schwartz y sus colaboradores quienes formulan la noción de Imaginamiento Dinámico (Schwartz & Black, 1996; Schwartz & Cooper, 1998; Schwartz, 1999) diferenciándola claramente del Imaginamiento Cinemático. Si bien en varios de sus trabajos él refiere a la noción de modelo mental desde la perspectiva de Johnson- Laird y en consecuencia se trata de referenciales compatibles, parecería que la concepción de Schwartz de imaginamiento cinemático y dinámico es levemente diferente y más restringida que la concepción de modelos mentales de Johnson-Laird (1983) aunque

ambas posturas coinciden en la idea de que el imaginamiento y la visualización mental no podrían ser acabadamente explicados a partir de las teorías de imágenes mentales. Así, Johnson-Laird (1996) ha sostenido que la explicación de los experimentos de rotación mental de cuerpos de Metzler y Shepard (1974) desarrollados en el marco de investigaciones sobre los aspectos funcionales de la imagen mental, requieren la noción de modelo mental. Lo que él argumenta, es que para rotar un objeto tridimensional cuyas imágenes se proyectan en el medio visual mental $2 \frac{1}{2} D$, se requieren todas las "vistas" del objeto, es decir un modelo mental 3 D del mismo, desde el cual se generarían las imágenes.

Esta idea confluye con la formulación de Kosslyn (1986, 1996) reconocido como el teórico de la imagen por antonomasia, cuya preocupación es crear una teoría que fundamente la existencia de imágenes mentales y explique su generación, mantenimiento y transformación, sin abordar la cuestión de los procesos de inferencia, razonamiento deductivo y comprensión. La generación de una imagen mental depende de información percibida o almacenada y la transformación, requiere conocer anticipadamente los resultados que se "verán", si esto no está ya almacenado entonces tiene que inferirse y allí estamos en procesos interpretativos que trascienden a la imagen! y que a nuestro juicio y al de Johnson-Laird (1996) y al de Schwartz (1999) requieren de otras representaciones. En este punto, Johnson-Laird hablará de modelos mentales y Schwartz (1996) partirá de esta noción considerándola inherente a resolución de problemas nuevos, pero su elaboración teórica se concentra en el imaginamiento físico y transita por una diferenciación entre una descripción cinemática y otra dinámica coronando en la construcción teórica, en la formulación computacional y en la obtención de evidencia empírica, acerca de la superioridad de los modelos pictóricos para explicar la construcción de representaciones analógicas que efectivamente representen los aspectos dinámicos y causales del mundo (Schwartz, 1999).

Los modelos pictóricos son representaciones mentales del mundo físico que intervienen en los procesos de visualización mental dinámica, cuya importancia reside en que permiten sacar conclusiones -inaccesibles en ese momento por otras vías- cuando no se sabe cómo se comportará un cierto sistema físico y no se dispone de alternativas perceptivas que permitan obtenerlas, ni tampoco de alternativas empíricas (Schwartz & Black, 1996; Schwartz & Cooper, 1998; Schwartz, 1999). Una ganancia metodológica adicional concurrente con los modelos pictóricos, es que como las inferencias acerca del comportamiento de un sistema físico originadas en el imaginamiento dinámico sacan a luz informaciones "encapsuladas en representaciones analógicas" que originalmente el sujeto no puede expresar en otra forma, los individuos las exteriorizarían mediante gestos referidos a la situación como movimientos con sus manos y hasta con su cuerpo. Esos movimientos les ayudarían a "internalizar" en tiempo real, las acciones que mentalmente están simulando entre los objetos imaginados y las consecuencias de esas acciones (Schwartz & Black, 1996). Por el contrario, cuando las conclusiones se obtienen con base en otro tipo de representaciones mentales por ejemplo modelos mentales que subyacen al imaginamiento cinemático, o cuando ni siquiera hay imaginamiento mental, tales acciones no serían observadas, porque no serían necesarias.

¿Por qué cuando alguien realiza una visualización cinemática no harían falta esos movimientos de manos y aún del cuerpo, que sí son evidencia de visualización dinámica?. Al parecer, en una descripción cinemática (espacial) del imaginamiento, las acciones y sus consecuencias sobre el objeto no se representan necesariamente en tiempo real y además, la propia generación del modelo exige que la respuesta esté disponible al sistema cognitivo de antemano -explícita para el sistema de procesamiento como un todo- mientras que en un

modelo pictórico, la respuesta se obtiene de la visualización dinámica y sólo a partir de ella. Sin embargo, debe quedar claro que los movimientos de manos y del cuerpo -que a veces se realizan con los ojos cerrados y sin hablar- no se relacionarían en este caso con una percepción visual de las consecuencias de la acción. Es decir que "ver" como se desarrolla un fenómeno físico -por ejemplo a partir de una simulación computacional- podría no ser relevante para el imaginamiento dinámico, mientras si podría contribuir una tarea que ayude a internalizar la acción física -que ocurre en tiempo real y produce la sucesión de los estados dinámicos intermedios del sistema que no se manifiestan necesariamente en una simulación computacional, ni en una visualización cinemática-.

La formulación de modelos pictóricos enfoca la descripción de cómo las personas son capaces de "ver" en su mente una situación física completa, construyendo una representación estrictamente analógica, en tiempo real, que posibilitaría representar: viscosidad, gravedad, dureza, rozamiento, constante elástica, fuerzas, resistencias, etc. y las tasas de variación de una magnitud respecto de otra además de las interacciones entre los objetos que se representan y permiten obtener respuestas a situaciones físicas nuevas, sólo accesibles en ese momento a partir de la visualización dinámica. Ahora bien, por más que Schwartz establece que, de esta forma se representa la causalidad física y que su noción de causalidad está vinculada con fuerzas, resistencias y gravedad, paradójicamente, se trata de una representación puramente "analógica de los aspectos causales" lo cual resulta conceptual y epistemológicamente discutible, ya que la causalidad trasciende en mucho los aspectos observables, es una atribución del sujeto a los objetos y no es una relación que "está en las cosas" y debido a su carácter abstracto pareciera requerir de procesos que trascienden la representación analógica.

Por esta razón, es que no encontramos a los modelos pictóricos de Schwartz estrictamente idénticos a los modelos mentales de Johnson - Laird, ya que en esta última concepción los modelos pueden ser total o parcialmente analógicos, o total o parcialmente proposicionales y pueden representar relaciones abstractas, no siendo este el caso de los modelos pictóricos. Como los modelos pictóricos se usan para representar y resolver situaciones físicas "nuevas" - en general formuladas verbalmente- que suponen comprensión y realización de inferencias, indudablemente son modelos mentales. Si tuviéramos que establecer alguna correspondencia, los modelos pictóricos serían modelos mentales totalmente analógicos, pero la representación de la causalidad en un sentido físico pleno, requiere de un proceso de toma de conciencia y de algún modelo al menos parcialmente analógico, que como argumentamos en secciones siguientes, podría ser producto de una modificación representacional a posteriori de la visualización dinámica.

En síntesis, la concepción de modelo mental de Johnson-Laird sería más amplia que la de modelo pictórico, pero esta última a su vez, se plantea con una formulación computacional diferente a la de los modelos mentales, surgida hace pocos años como el paradigma de programación orientada a objetos, que además resulta funcional para explicar cómo las personas obtienen conocimiento encapsulado en una situación física que visualizan en su mente. Por otra parte, los modelos pictóricos superan a las descripciones espaciales de base cinemática como las teorías de imágenes mentales, que son insuficientes para explicar la visualización mental según fue documentado en capítulos precedentes. Finalmente, los modelos pictóricos ofrecen una explicación de porqué las personas realizan gestos referenciales -no de los que acompañan el discurso usual- y permiten identificar cuando los sujetos están visualizando situaciones en su mente de manera analógica y "dinámica" al decir de Schwartz (1999).

Los resultados anteriores conducen a re-contextualizar la influencia sobre la comprensión en Física, que podrían tener las imágenes externas que se generan en una simulación computacional. Así, las razones que fundamentan una posible influencia positiva de las imágenes externas, trascenderían considerablemente los aspectos relativos a la percepción visual de las imágenes y su relevancia residiría en la interpretación de la información que contienen, y en el proceso representacional que su decodificación puede originar.

III. *Síntesis de los Aspectos Centrales que se tendrán en cuenta en el Análisis*

1. Los modelos mentales pueden originarse tanto a partir del discurso verbal como del discurso visual, ellos son análogos de la estructura percibida a partir de las formulaciones discursivas. En ambos casos, la percepción desempeña un papel relevante que deriva en un proceso interpretativo, originando representaciones mentales. Tales representaciones internas, no están directamente vinculadas ni con el formato, ni con el contenido de la representación externa original.
2. Para comprender el mundo físico y derivar conocimiento realizando las predicciones e inferencias pertinentes, es necesario construir modelos mentales adecuados; no es posible hacer inferencias acerca de un fenómeno físico, sin haber construido un modelo mental. Sin embargo, hay distintas clases de modelos, es decir que las inferencias acerca de un fenómeno físico, podrían hacerse tanto desde modelos mentales originados en el imaginamiento dinámico "*depictive models*", como desde modelos cinemáticos y desde modelos "más proposicionalistas" (Greca y Moreira, 1995). Las teorías recientes acerca del imaginamiento mental conducen a diferenciar a éste, del proceso de generación de imágenes mentales; esta distinción está claramente mencionada en la formulación de Johnson-Laird (1990, 1996), quien se refiere a ella cuando alude a los experimentos de Metzler y Shepard (1974) sobre la rotación mental. Si bien esos trabajos sobre la rotación mental de cuerpos se formularon en el ámbito de la investigación en torno a la imagen mental, una conclusión que emerge de ellos es que la rotación de los cuerpos exige poseer modelos mentales tridimensionales de los mismos, ya que según la conocida formulación de Marr, la imagen mental es $2\frac{1}{2}$ D y no 3 D. La razón, es que en el experimento de la rotación mental se necesita anticipar desde afuera de la imagen la posición del cuerpo y para eso se necesita de un ¡modelo mental!, por lo menos cinemático.
3. El imaginamiento dinámico puede simularse computacionalmente a partir de un lenguaje de programación orientado a objetos (Schwartz & Black, 1996; Schwartz & Cooper, 1998; Schwartz, 1999), para lo cual es necesario representar las condiciones físicas, como por ejemplo si un resorte es duro o blando y no sólo la información espacial. La descripción de Schwartz profundiza la distinción entre la concepción habitual de imágenes y la visualización mental, es decir, sostiene que las descripciones acerca del imaginamiento mental que se originan a partir de las teorizaciones habituales de la imagen (Kosslyn, 1986, 1996; Metzler & Shepard, 1974) basan sus desarrollos en una concepción que sólo da cuenta de las relaciones espaciales, por las restricciones impuestas al propio modelo cinemático de imaginamiento. En la descripción del imaginamiento físico propuesta por Schwartz (1999) se consideran aspectos físicos esenciales y se aporta evidencia empírica acerca de que las personas son capaces de representar las acciones de un objeto sobre otro, fundamentalmente cuando no poseen una respuesta anticipada para cierta situación,

cuando la situación les resulta nueva o cuando las representaciones disponibles no les resultan adecuadas. En caso contrario, pueden imaginar la situación de manera cinemática -si conocen la respuesta previamente- o no imaginar nada y hacer inferencias con base en modelos no imagísticos integrados por representaciones discretas -proposiciones-.

4. Entonces, los estudiantes visualizarían dinámicamente cuando necesitan resolver un problema y no disponen de representaciones proposicionales o cuando las representaciones mentales que poseen no les resultan adecuadas, como una manera de obtener información que está encapsulada y a la que sólo pueden acceder a través de esta forma de imaginamiento. Como los modelos dinámicos representan las acciones de un objeto sobre otro y son consecuencia del "hacer" y no del "ver", ellos podrían acompañar estas visualizaciones con movimientos de manos y hasta del cuerpo, que les ayudan a construir las representaciones continuas de todos los estados del sistema. Estos movimientos son evidencia indirecta que resulta muy importante durante las entrevistas. Otros indicadores son las explicaciones numéricas, cuantitativas y el hecho de que el sujeto utilice expresiones verbales referidas a su modelo o auto-referidas (Monaghan & Clement, 1999).
5. Mientras se realiza la ejecución de una visualización dinámica -imagínese que esta rodando un *applet* en java- difícilmente sería influida por las creencias del sujeto, la conclusión sólo surge de la acción imaginada y no de información explícita previa. Pero obviamente, las personas pueden modificar las restricciones y condiciones que imponen a sus modelos pictóricos según sus creencias y simular situaciones diferentes y comportamientos diferentes, empleando representaciones sensibles al tiempo. Esto, permite suponer que las intervenciones sustentadas en las imágenes externas con soporte informático, como las que se realizan en los tres casos que presentaremos, podrían afectar la conceptualización y las representaciones mentales construidas previamente, con auxilio de las tomas de conciencia progresivas que la intervención va produciendo a raíz de la demanda de explicación y explicitación verbal o pictórica. Estas modificaciones en la representación mental; podrían influir en el imaginamiento "a fortiori" incorporando otras restricciones a la ejecución de modelo o hasta inhibiendo la visualización por innecesaria para el sujeto, en la medida en que las situaciones cognitivas sean percibidas como resolubles con las representaciones ya disponibles de modo más eficiente y económico.
6. Los modelos mentales construidos a partir de elementos e inferencias originados en el imaginamiento dinámico, representarían relaciones espaciales, dinámicas y también relaciones causales. Problematizar la influencia directa y "on-line" de las representaciones externas como imágenes en la visualización mental, implica refinar las preguntas en torno a cómo las representaciones externas suministradas en contextos de aprendizaje, pueden intervenir y afectar los procesos de imaginamiento dinámico y la representación y utilización de conocimiento físico, y este es uno de los objetivos del estudio en profundidad que realizamos.

IV. Descripción y diseño del Estudio

Se realizó un estudio con profundidad acerca de la comprensión del tema Oscilaciones Libres, Amortiguadas y Forzadas cuando se usan simulaciones. Los sujetos estudiaron el tema previamente y realizaron una evaluación que nos informa de su conocimiento acerca de los fenómenos considerados. Así es posible analizar cualitativamente, cómo se modifican las

respuestas en situaciones idénticas a las de la prueba y en otras nuevas, al final de cada sesión individual. Durante dos sesiones cuya duración es de aproximadamente 60 minutos cada una, se trabajó con simulaciones y una interacción intensa con el entrevistador. Los protocolos revelan las complejidades que se derivan de la interpretación de la información representada en las pantallas y del uso de la herramienta en sí, aún cuando los contenidos de las simulaciones se refieren a conocimientos propuestos previamente en una secuencia instruccional de 10 horas y aún cuando los estudiantes están familiarizados con el uso de ordenadores. Para la obtención de los registros se grabó en cinta de audio la totalidad de la intervención, cada vez que se producía un movimiento de manos, el entrevistador registraba los dos últimos dígitos del contador del grabador y al reproducirla y transcribirla podía establecer en qué momento se habían producido las gestualizaciones.

EL Caso Luci

A continuación presentamos una breve síntesis de la situación en que se encontraba Luci, cuando realizó la evaluación. Se trata de una estudiante que tiene 16 años de edad al momento de realizar la entrevista.

- Conoce las magnitudes físicas y sus relaciones fundamentales en un sistema oscilante, las puede expresar por escrito.
- Verbalmente Luci describe los valores de x, \dot{x}, a, v, A en los extremos y en la posición de equilibrio en la trayectoria.
- Deriva sus conclusiones y las cuantifica a partir de las expresiones matemáticas, a las cuales utiliza con mucha eficiencia para un estudiante de su edad. Esto será retomado y discutido al analizar los resultados obtenidos al finalizar la primera entrevista.
- No puede representar en las gráficas la posición inicial el instante inicial y los dibujos seriados que realiza son incorrectos ni puede representar adecuadamente el vector posición, ni el vector velocidad ni el vector aceleración cuando es ella quien tiene que generar la serie temporal de gráficos. Sin embargo, representó correctamente cuando se le proporcionó el dibujo con el origen marcado.
- La actividad referida a las oscilaciones amortiguadas y forzadas fue respondida de manera extensa, completa, densa, requiriendo gran extensión espacial y evidenciando una excelente capacidad de expresión del estudiante. La expresión verbal, reafirma nuestra interpretación de que trabajaremos con un estudiante que posee abundantes representaciones proposicionales y que las utiliza de manera bastante pertinentemente cuando se le solicita predecir.

La primera parte de la entrevista con Luci procuró describir el conocimiento que ella ponía en juego para comprender el contenido de las pantallas y si era capaz de expresarlo: verbalmente y/o con gestos o dibujos, caracterizando adecuadamente las magnitudes vinculadas al movimiento oscilatorio. La evaluación muestra que cuando se enfrentaba a situaciones en las que se requería predecir, construía modelos mentales proposicionales y a veces derivaba conclusiones relativamente correctas. Los errores que cometió en la evaluación, se concentran fundamentalmente en la representación vectorial y pictórica, evidenciando confusión entre el origen de coordenadas -para marcar el vector posición sobre la trayectoria-, el instante inicial, la posición de equilibrio y los vectores posición, fuerza y velocidad. En consecuencia, en la primera entrevista, se buscó abordar, entre otros, los aspectos que parecían ofrecer dificultad a Luci. Por razones de extensión nuestro trabajo solo describe en esta presentación los resultados de la primera entrevista.

Primera Entrevista

Se siguió la secuencia: Descripción, Análisis, Explicación y luego Predicción. Durante la intervención, si se proponen cambios en los parámetros, se solicita predecir siempre antes de ejecutar el software, y luego se chequea la inferencia realizada, discutiendo los resultados obtenidos. Se realizan las ejecuciones necesarias hasta que se obtiene una situación comprensiva adecuada, o mejor que la de partida, siempre en términos relativos al estudiante. El software y la interacción se emplean para clarificar conceptos, precisar y corregir relaciones o construirlas si están ausentes. Al final de la sesión, el estudiante pasa por una fase de evaluación sin pantallas y sin simulación, sólo con lápiz y papel y con una interacción con el entrevistador más restringida.

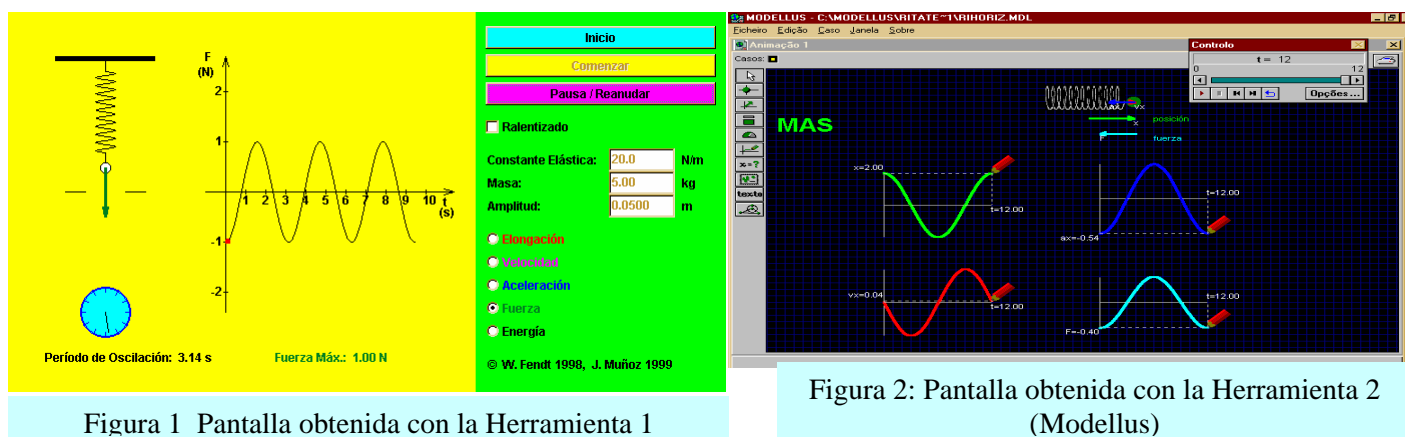


Figura 1 Pantalla obtenida con la Herramienta 1

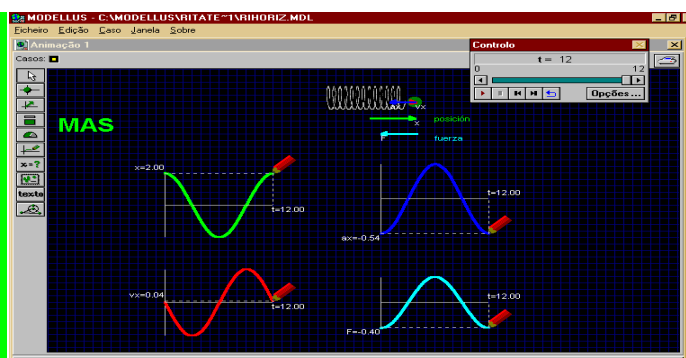


Figura 2: Pantalla obtenida con la Herramienta 2 (Modellus)

La Figura 1 muestra una vista de un cuadro de la pantalla, se advierte cuáles magnitudes se pueden cambiar y cuáles se pueden visualizar alternativamente. Durante la fase descriptiva con la Herramienta 1 no se observaron movimientos de manos, lo cual indicaría que no se produjo visualización dinámica, quizás porque la actividad consistía en describir lo que Luci veía e interpretaba de las pantallas y porque en esta parte no fue necesario predecir. Ella describió y caracterizó correctamente el sistema por su masa y por su "elasticidad" y pareció comprender las nociones de oscilación y período. Sin embargo, inmediatamente se manifestaron las confusiones con relación al origen del tiempo y de la posición, ya mencionadas anteriormente y entre fuerza y aceleración. En la segunda fase de explicación verbal y predicción, a partir de preguntas se intentó ayudar a Luci a tomar conciencia de las relaciones entre ciertas magnitudes y a reconocer los errores buscando modificarlos. Ella parece disponer de un conjunto importante de representaciones proposicionales que integra en modelos mentales cuando tiene que predecir y no parece construir modelos pictóricos porque no se identificó ningún movimiento de manos referido a la situación. Al final de la intervención con esta herramienta, Luci verbalizó las relaciones correctamente - admitiendo las salidas del software en contra de sus creencias- pero esto no garantiza que las comprenda profundamente. Aún con las posibilidades de visualización externa ofrecida, los errores de Luci resultaron muy resistentes.

También se utilizaron animaciones prediseñadas con *Modellus* acerca de un sistema que oscila libremente, sobre una trayectoria horizontal. Según se aprecia a en la Figura 2 en una misma pantalla se trazan los gráficos de la variación temporal de las componentes de los vectores: \vec{F} , \vec{x} , \vec{a} , \vec{v} y se ejecuta una animación del sistema oscilante representando la variación continua de los vectores sobre la trayectoria. Desde los gráficos, se puede inferir el período y se representan con las unidades correspondientes, los valores máximo y mínimo de

las componentes de los vectores mencionados. Por primera vez durante la entrevista Luci se ayudó con movimiento de manos mientras la ejecución estaba detenida. La visualización habría surgido cuando fue necesario responder la pregunta ¿dónde estaría el resorte en el instante inicial? y debido que ella no sabía cómo derivar la respuesta ni desde el gráfico $x-t$, ni desde el dibujo del resorte. Inmediatamente después de la visualización Luci consiguió responder una pregunta pendiente desde el diálogo previo, referida al valor del período de oscilación, como si algo se hubiese reorganizado de pronto "en su cabeza". Al estar dadas las condiciones que según nuestro marco teórico posibilitan la ocurrencia de una visualización dinámica, es factible que se hubiera producido el imaginamiento dinámico y es relevante que esto suceda fuera de la ejecución de la herramienta.

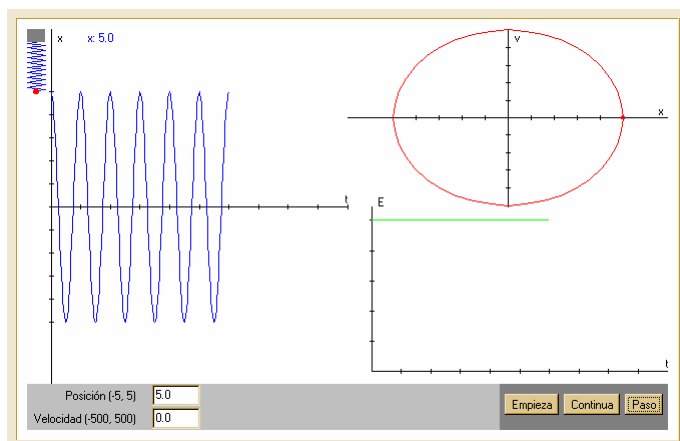


Figura 3 Oscilaciones Libres Herramienta 3

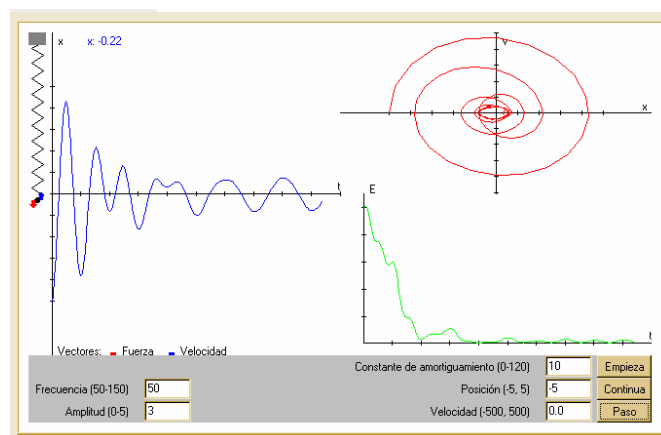


Figura 4 Oscilaciones Forzadas en la Herramienta 3

Finalmente con la Herramienta 3 (ver Figura 3) es posible introducir la posición inicial y la velocidad inicial en un sistema que oscila libremente y analizar cómo estas condiciones afectarán la evolución temporal de la componente del vector posición (en un gráfico $x-t$) y de la energía total ($E-t$). También se visualiza la trayectoria del móvil en la simulación de la oscilación del sistema. En la fase descriptiva- se insistió en el carácter vectorial de la posición y de la velocidad y en la importancia de considerar el origen del movimiento y las condiciones iniciales. Sin embargo, aún cuando se "veía", se decía y se señalaba en la pantalla insistentemente, que la posición inicial del móvil era en $x = +5$, Luci no utilizó esa información para responder preguntas y sus movimientos de manos indicaron lo contrario - estiró el resorte en lugar de comprimirlo-. Mientras se trabajó con la Herramienta 3 sólo se identificaron dos momentos en los cuales Luci podría haber experimentado una visualización dinámica. En ambos, ignoró lo que la pantalla mostraba y a juzgar por los movimientos de manos utilizó un modelo pictórico. Según lo observado en estos casos la visualización dinámica podría operar desvinculada de las instancias en que el sujeto trabaja con las pantallas, y producirse cuando no se está mirando la simulación o si no se interpretan las entradas perceptivas como pertinentes a la respuesta buscada o si no se dispone de otras representaciones más discretas y más fácilmente accesibles y se exige responder cuestiones que se conciben como "nuevas".

Evaluación de Luci después de la Primera Entrevista

A continuación de la primera entrevista se realizó una evaluación -sin software- en la cual se plantearon entre otras, las siguientes situaciones:

Los chicos de la escuela tomaron dos resortes idénticos, y de cada uno de ellos colgaron una pesa de 50 gramos. Uno fue estirado una longitud 10 cm y el otro una longitud 20 cm. Luego los soltaron:

- 1.1 ¿Cuál de ellos tardará mas en hacer una oscilación, si el sistema no pierde energía?
- 1.2 ¿Cuál de ellos oscilará mas veces por segundo si el sistema no pierde energía?
- 1.3 Si consideráramos el roce: ¿Cuál de los sistemas tardará más tiempo en detenerse?

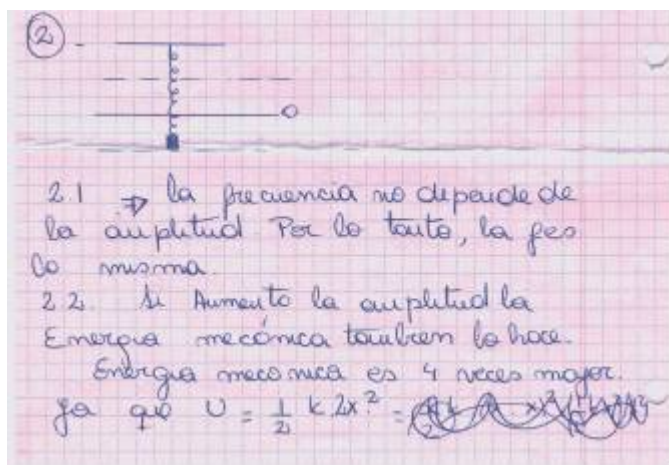


Figura 5: Respuesta previa a la Entrevista

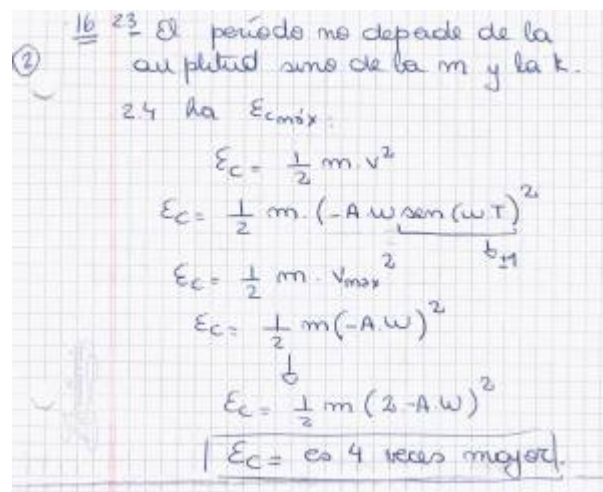


Figura 6: Respuesta antes de la Entrevista

Para las tres preguntas Luci predijo correctamente, el protocolo muestra respuestas seguras y rápidas que sugieren que ha construido un modelo proposicional. En correspondencia con lo anterior no se observaron movimientos de manos, reafirmando que las predicciones se harían desde un modelo al menos parcialmente proposicional -igual que durante la fase de explicación- aunque en este caso, el modelo estaría mejor articulado y produciría respuestas rápidas y correctas. Mientras que si provienen de visualizaciones dinámicas las conclusiones no son tan inmediatas y la persona toma mucho tiempo para responder. Luci emplea expresiones como "el período dependía de la masa y de la constante", "la amplitud es constante entonces ¡tardan lo mismo!" así como extensas argumentaciones verbales -no totalmente correctas- referidas a la energía que reafirman la construcción de un modelo basado en proposiciones.

Cuando nos referimos al desempeño de Luci en la evaluación previa a la entrevista, ya mencionamos que ella había respondido correctamente preguntas acerca de la relación entre amplitud y energía basándose en las expresiones matemáticas, con las que parece sentirse segura y opera de manera pertinente y eficiente. La Figura 5 y la Figura 6 permiten apreciar que su argumentación no tiene la apariencia de un razonamiento mecánico y con pocas relaciones significativas.

Muy pocos estudiantes respondieron acerca de la energía mecánica y de manera matemáticamente impecable -sin que se lo requirieran- acerca de la energía cinética máxima. Comparando las respuestas antes y después podría decirse que Luci tendría un "estilo proposicional" y que preferiría argumentaciones basadas en expresiones formales. Durante la situación de evaluación en la entrevista, las fórmulas ya no estaban disponibles y sin embargo, Luci continuaría basando sus respuestas en proposiciones integradas en modelos de ese tipo.

Luci también respondió de manera contundente y rápida reafirmando nuestra interpretación de que construyó un modelo basado en proposiciones para derivar la conclusión cuando se le planteó la situación siguiente:

Después los chicos colgaron dos pesas de 50 gramos de un resorte y una sola del otro y volvieron a estirarlos a ambos, pero la misma cantidad, luego los soltaron:

2.1 ¿Cuál de ellos tardará mas en hacer una oscilación, si el sistema no pierde energía?

2.2 ¿Cuál de ellos oscilará mas veces por segundo si el sistema no pierde energía?

2.3 Si consideráramos el roce: ¿Cuál de los sistemas tardará más tiempo en detenerse?

En síntesis parecería que el trabajo con las simulaciones contribuyó a consolidar las representaciones proposicionales que luego Luci utiliza cuando razona -quizás con escasas modificaciones-. Como se estableció en el marco teórico, las proposiciones permiten velocidad y eficiencia, así, los requisitos de explicación, verbalización y explicitación que planteó la intervención en la entrevista, afectarían las características y la disponibilidad de las representaciones proposicionales. En consecuencia, la efectividad del software y sus imágenes en este proceso no podrían separarse de la exigencia de interpretar y comunicar lo que se interpreta -entre otras cosas, para no "fijar" relaciones incorrectas- originada en esta forma de utilizar y discutir las imágenes, dirigida a convenir el significado de lo que se "ve", en lugar de presuponerlo evidente. A continuación realizamos un análisis detallado y comentarios especiales sobre la tercera situación planteada al final de esta entrevista en la que se solicita dibujar.

Dibuja como se verían los resortes en la primera y en la segunda situación en $t = 0$. Representa los vectores Fuerza, posición, velocidad y aceleración para el primer y segundo caso, cuando cada resorte se encuentre en la mitad del período después de haberlo soltado.

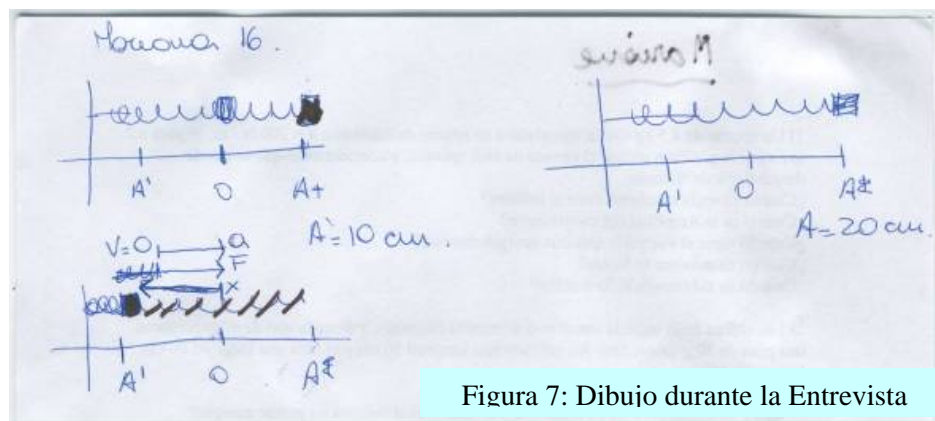


Figura 7: Dibujo durante la Entrevista

Téngase en cuenta que aunque el enunciado de la situación uno dice "los chicos colgaron pesas de los resortes", sin embargo, Luci comenzó sin dudar, dibujando resortes horizontales, y ejecutó un dibujo formulario o prototípico (Freeman, 1980) del sistema oscilante, y no una representación adecuada a la situación en sí.

Cuándo se le sugirió que uno de los resortes estaba más estirado que el otro, esperando alguna modificación, ella expresó "¡ah! Uno 20 cm y el otro 10 cm", escribió eso al costado de los esquemas que aparecen en la Figura 7 y continuó con sus dibujos de resortes horizontales. Nuestra interpretación es que el dibujo que vemos en la Figura 7, no se derivaría desde alguna visualización dinámica previa de la situación presentada a Luci, si así fuera: ¿cómo no representar los resortes verticales, con sus diferentes amplitudes?. Más bien, parecería que para dibujar los resortes, o bien Luci estaría recuperando imágenes aisladas -aunque parece poco probable que hubiera almacenado estrictamente esas- o generando las imágenes sucesivas desde algún modelo cinemático, que sostiene una relación arbitraria con la situación física y que recupera vistas aisladas del comportamiento de un resorte horizontal. Dicho

modelo, se ejecutaría y revisaría recursivamente varias veces, frente a los comentarios del entrevistador, ocasionando las modificaciones -tachaduras- que se observan en los dibujos, aunque sin integrar un aspecto clave de la situación real, como la gravedad.

Cuando se le dice "entonces está mal dibujado", en referencia a las confusiones en torno a la posición inicial que relata el protocolo (Luci corrige en el dibujo la posición inicial que había trazado en $x = 0$ y la dibuja positiva, a la derecha (se ve claramente en la Figura.7). Como se desprende de la inspección de los dibujos y del protocolo, Luci no sabe cómo dibujar el vector posición. Sólo lo traza luego de que se le indica cómo hacerlo. Vemos entonces, que Luci no consigue dibujar correctamente después de la intervención con el software relativa a la representación vectorial, aunque sí fue capaz de corregir sus errores sobre los dibujos ya hechos. En consecuencia, la situación permanece como en la evaluación previa a la entrevista, cuyos resultados con relación a los dibujos en una situación similar se presentan en la Figura 8. Si bien en el primer dibujo Luci es capaz de representar la posición inicial del bloque, aunque sin trazar el vector posición. Cuando tiene que construir la serie temporal y considerar el instante inicial, vemos que confunde equilibrio con $t = 0$. Así, mientras consiguió dibujar correctamente el vector posición para $t = T/4$, la representación es incorrecta en el esquema siguiente. Si volvemos a considerar la Figura 7 realizada durante la entrevista, la permanencia del error es evidente, así como la escasa modificación que se ha producido en los dibujos después de la intervención.

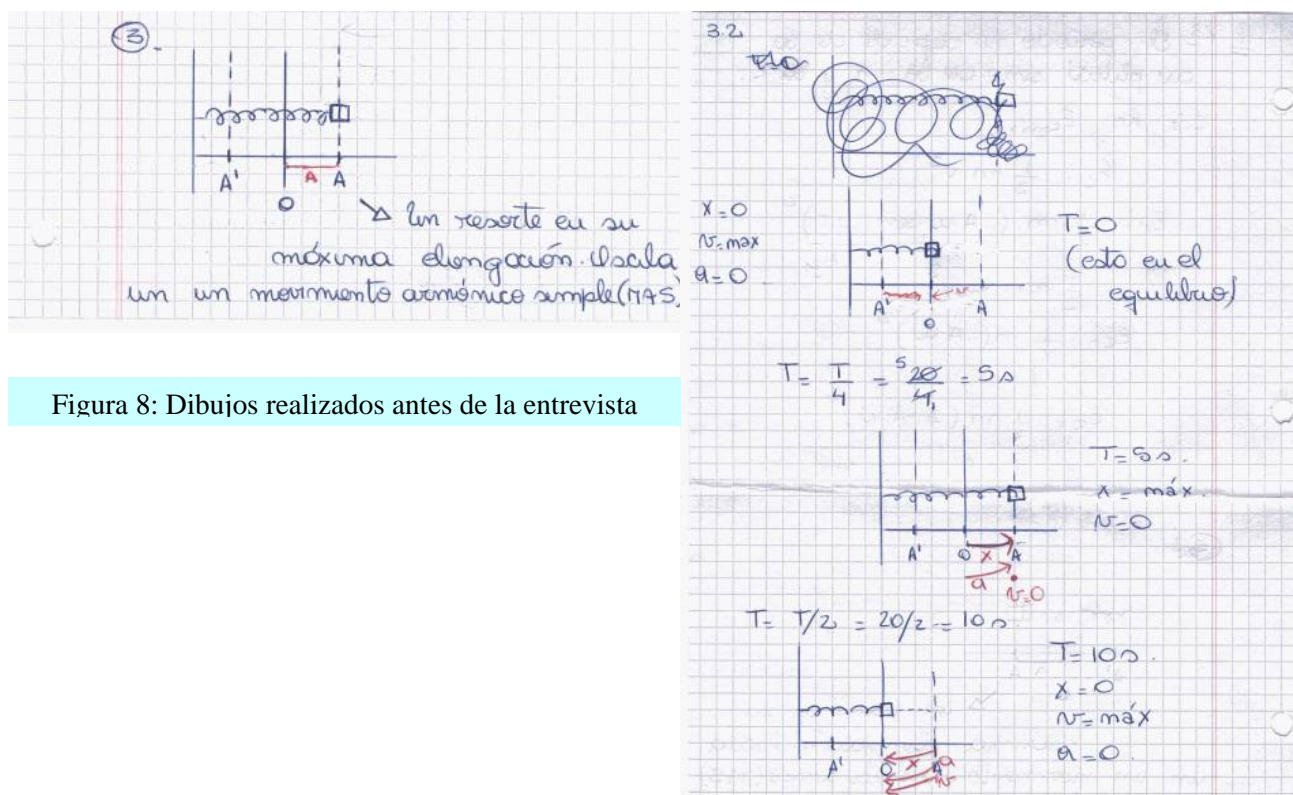


Figura 8: Dibujos realizados antes de la entrevista

Atendiendo a las características de la actividad solicitada y a los resultados obtenidos, es posible considerar sólo a título de hipótesis, que para realizar un dibujo del sistema seriado en el tiempo, es decir incorporando a la representación externa las restricciones establecidas por las condiciones iniciales que se plantean en una situación concreta, se necesitaría construir un modelo mental que permita generar imágenes mentales de las posiciones sucesivas del resorte. Si sólo hubiera que dibujar para un instante cualquiera, podría ocurrir que una imagen mental

bastara -generada "ad hoc" o recuperada- pero la serie de imágenes, supondría por lo menos la construcción de un modelo mental cinemático, del cual se derivan "vistas" en distintos instantes, porque se conocen -predicen, anticipan- las posiciones sucesivas del resorte. Si se es capaz de trazar el dibujo seriado, podría inferirse que algún modelo de las características mencionadas fue construido, aunque por no realizar el dibujo, no se puede implicar la ausencia del modelo. Cuando el dibujo se modifica "sobre la marcha" parecería que tiene lugar una actividad más on-line y con más incidencia de la percepción, que interfiere con el acto de dibujar, razón por la cual la evidencia proveniente de dibujos debe considerarse con mucho cuidado.

En síntesis, hasta por una cuestión de carga de la memoria de trabajo, parecería poco probable que los dibujos se produzcan durante una visualización dinámica y más plausible que requieran un modelo cinemático, donde las conclusiones se conocen de antemano y desde el cual se deriven las imágenes; pero si bien los movimientos de manos auxilian la visualización y la indican, quizás esta igual ocurra aunque el sujeto no gestualice. Posiblemente, luego de las visualizaciones dinámicas y gracias a ellas, las personas puedan enriquecer sus representaciones como para generar "a posteriori", modelos cinemáticos que si son adecuados conducirían a producir dibujos apropiados. En consecuencia, estas visualizaciones dinámicas podrían ser decisivas en la aproximación inicial a una situación física, sobre todo, si auxilian la construcción de otras representaciones mentales, adecuadas para consolidar nuevas formas de representación subsiguiente.

V. *Conclusiones parciales acerca del caso Luci*

En términos generales, podría decirse que Luci habría conseguido integrar conocimiento y construir modelos mentales bastante adecuados cuando las situaciones comprensivas y predictivas se lo requirieron, según surge del análisis cualitativo de sus respuestas en la Evaluación Final. Los modelos que utilizó tanto en la primera entrevista como en las situaciones correspondientes a la fase de Evaluación, parecían emplear proposiciones más que imágenes. Sin embargo en las contadas ocasiones en las que no encontró información conceptual explícitamente representada y / o información perceptiva, posiblemente construyó modelos pictóricos si se toma en cuenta el movimiento de las manos, como ocurrió para las relaciones T-k.

Con relación al dominio gráfico y específicamente a la dificultad para trazar dibujos de los sistemas masa-resorte seriados en el tiempo, el trabajo con las visualizaciones externas no habría influido en las representaciones pictóricas producidas por Luci de manera apreciable, según surge de los errores que repite una y otra vez cuando se le pide dibujar. En lo que respecta a los dibujos de los resortes no se ven diferencias entre la entrevista y la evaluación previa, sus dibujos no representan bien la secuencia temporal, como si ella sólo dispusiera de imágenes recuperadas o derivadas desde modelos cinemáticos errados, es decir, un modelo cinemático también puede representar una secuencia temporal, pero arbitrariamente relacionada con el tiempo real o con una secuencia causal.

Entonces vale la pena preguntarse si la imposibilidad de trazar dibujos en serie temporal, que representen la evolución del sistema, se debería a que no se han generado visualizaciones dinámicas de la situación o a que estas fueron abortadas, antes de "ver" todo un período, o si se trata de representaciones que no se requieren mutuamente y nuestra hipótesis es totalmente incorrecta. Si estuviéramos en el camino correcto, la solicitud de predicciones y de dibujos

seriados en el tiempo podrían ser un buen indicador del nivel de modelización del sujeto, ya que para realizar un dibujo de este tipo, se requerirían por lo menos modelos cinemáticos adecuados o haber construido un modelo pictórico, que auxilie la construcción a posteriori de modelos cinemáticos adecuados, que se ejecuten y revisen mientras se realiza el dibujo. Este es un buen punto para investigar en el futuro.

Bibliografía

FREEMAN, N. H. *Strategies of Representation in Young Children: Analysis of Spatial Skills and Drawing Processes*. Academic Press, 1980.

JOHNSON-LAIRD, P. *El ordenador y la mente*. Barcelona, Paidós, 1990.

JOHNSON-LAIRD, P. Images, Models, and Propositional Representations. In *Models of Visuospatial Cognition*, Manuel de Vega, Margaret Jean Intons Peterson, Philip Johnson-Laird, Michel Denis y Marc Marschark, Cap 3 pp 90-126, New York, Oxford, Oxford University Press, 1996.

JOHNSON-LAIRD, P. *Mental models*. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.

JOHNSON-LAIRD, P. Mental Models. In Posner, M. (Ed.) *Foundations of Cognitive Science*. Cambridge : MIT Press. 469-499, 1990.

KOSSLYN, S. *Image and Mind*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1986.

KOSSLYN, S. *Image and Brain*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1996.

MEZTLER J. & SCHEPARD R. N., Transformational Studies Of The Internal Representation Of Three Dimensional Objects. *Theories of Cognitive Psychology: The Loyola Symposium*. Solso, L. & Potomac M. Eds., Erlbaum, 1974.

MONAGHAN, J. M. & CLEMENT, J. Use of computer simulation to develop mental simulations for understanding relative motion *International Journal of Science Education* 21(9) 921-944, 1999.

OTERO, M. R.; GRECA, I.; SILVEIRA F. L. El uso de imágenes visuales en el aula y el rendimiento escolar en Física: Un estudio comparativo. Aceptado para publicación en la Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias. Universidad de Vigo, España, 2002 a.

OTERO, M. R; GRECA, I.; SILVEIRA, F. L. Imágenes y Rendimiento escolar en Física. Trabajo aceptado para presentación oral en el Ier. Encuentro Iberoamericano de Investigación Básica en Educación en Ciencias. Burgos, España, 2002 b.

OTERO, M. R, MOREIRA M. A., GRECA, I. El Uso de Imágenes en Textos de Física, *Revista Investigaciones en Enseñanza de las Ciencias*. UFRGS, Brasil, 2002 a. http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/v7_n2_a2.htm.

OTERO, M. R, MOREIRA M. A., GRECA, I. M. *Imaginamiento Físico, Modelos e Imágenes Mentales a partir del uso de software de simulación en física*. Investigación en desarrollo, 2002 b.

OTERO M. R. *Imágenes y Enseñanza de la Física: Una visión cognitiva*. Tesis Doctoral. Universidad de Burgos, 2002.

SCHWARTZ, D. & MOORE, J. On the role of Mathematics in Explaining Material World: Mental Models for Proportional Reasoning. *Cognitive Science*, 22 (4): 441-516, 1998.

SCHWARTZ, D. & BLACK, J. Shutling Between Depictive Models and Abstract Rules: Induction and Fallback. *Cognitive Science*, 20 (2): 457-497, 1996.

SCHWARTZ, D. Physical Imagery: Kinematics versus Dynamics Models. *Cognitive Psychology*, 38, 433- 464, 1999.

SHEPARD, R. The mental Image. *American Psychologist* 33, 125-137, 1978.