

Análisis de las dificultades de los conceptos de peso y gravedad: algunos resultados de investigación desde un marco teórico neuroconstructivista¹

M. Celia Dibar Ure - Silvia Margarita Pérez

Centro de Formación en Enseñanza de las Ciencias
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - Universidad de Buenos Aires - Argentina
celiadibar@yahoo.com - silviamargaritaperez@yahoo.com.ar

El presente trabajo trata de un análisis y discusión de datos de investigaciones que permiten plantear la complejidad de las dificultades involucradas en la comprensión de los fenómenos relacionados con la gravedad. Se ponen en cuestión las manifestaciones cotidianas de la gravedad que, por su presencia insoslayable, adquiere una cierta invisibilidad. Desde el marco teórico del neuroconstructivismo y la especificidad de dominio se analizan los distintos aspectos de las representaciones y su contribución o impedimento para la enseñanza de la gravedad en diferentes niveles educativos.

Palabras clave: gravedad, especificidad de dominio, facilitaciones, representaciones, neuroconstructivismo.

This work analyses and discusses research data that bring out the complex task of understanding gravity and its effects. One of the reasons is that we are too familiar with it, as we live in a world where gravity cannot be eliminated. Human beings are born with a body adapted for functioning with gravity as well as with certain precocious expectations, for example about falling bodies. From the viewpoint of neuroconstructivism and domain specificity, we analyze different aspects of representations and their influence on learning about gravity at different levels of education.

Keywords: gravity, domain specificity, constraints, representations, neuroconstructivism.

Introducción

Es necesario problematizar las cuestiones cotidianas que son consecuencia de la gravedad ya que, justamente por cotidianas, permanecen invisibles o desligadas de lo que tienen en común: ser manifestaciones biológicas o de representaciones implícitas debido a que vivimos en un mundo gravitatorio.

El interés teórico de este tema reside en la doble preparación que parece traer el ser humano para interactuar con el mundo gravitatorio: la biología nos provee de un organismo adaptado y las percepciones acerca del mundo incorporan precozmente la naturalidad de la caída de los objetos hasta una superficie de apoyo.

Sabemos por nuestra experiencia y datos procedentes de nuestras investigaciones que la noción de peso aparece alrededor de los 6 ó 7

años en todas las explicaciones de fenómenos que puedan tener alguna relación con él, como por ejemplo en la flotación. Recordemos que alrededor de esa edad los chicos adquieren la conservación del peso (Piaget e Inhelder, 1941). El peso es tomado como una propiedad intrínseca del cuerpo. En el nivel secundario y universitario los alumnos pueden considerar inicialmente la fuerza de gravedad como diferente del peso (Camino, 2006. Galili, 1993).

Pero volvamos mucho más atrás: alrededor de los 6 meses los bebés esperan que un objeto que cae continúe cayendo hasta llegar a una superficie. Se asombran² si el objeto que cae queda suspendido en el aire (Spelke, 1991).

Observaciones que realizamos en un jardín de infantes como parte de una investigación, muestran el interés que despierta un tobogán y nos brindan ejemplos de la relación entre

gravedad y sensaciones tanto placenteras como de temor.

Los seres humanos tenemos representaciones motoras propias de un mundo con gravedad uniforme. Sabemos, con mayor o menor maestría, atajar un objeto que fue arrojado, caminar, saltar, deslizarnos por una rampa y un sinnúmero de acciones que tienen el sello de la gravedad. Sin embargo esa maestría, aún en el caso de un perfeccionamiento debido al entrenamiento, no es traducible a representaciones explícitas. Es decir no necesariamente se pueden explicitar correctamente los movimientos realizados. Piaget (1974) también se interesó en la “toma de conciencia”, estudiando las dificultades de explicitar las representaciones de las tareas tal como han sido llevadas a cabo.

Pero aún más, el realizar los movimientos con maestría no aporta a la comprensión del fenómeno físico y es probable que en algunos casos al pedir algún tipo de explicación se obtengan respuestas propias de las nociones alternativas.

Marco teórico

Los seres humanos no podrían aprender tan eficientemente como lo hacen, si todo lo aprendieran de la misma forma. Muchas habilidades cognitivas están especializadas para procesar ciertos tipos de información. Un ejemplo interesante al respecto, lo constituye el reconocimiento de rostros por parte de los bebés. Experiencias con neonatos indican que atienden con preferencia estímulos con elementos que se parecen a un rostro (Karmiloff Smith, 1992). El estado de indefensión con que nace el bebé humano hace que esta aptitud para identificar los congéneres sea necesariamente precoz; nuestra especie no se hubiera desarrollado sin procesos específicos que aseguren atención especial para con figuras maternas primero y luego también para con los demás miembros de su especie. Entonces, muchos sistemas especializados desempeñan tareas delimitadas, algunos en una forma eficiente y rápida y otros en forma flexible y lenta, como los razonamientos o la escritura.

Dentro del marco de los dominios específicos, se plantea que existen ciertas (predisposiciones o) facilitaciones de dominio específico que están innatamente guiadas. Estas facilitaciones son manifestaciones de restricciones innatas que, por ejemplo, permiten focalizar la atención del niño desatendiendo otros estímulos, facilitándole la tarea de dar sentido al caos de información que recibe. Las facilitaciones dan al desarrollo del niño un pequeño pero significativo puntapié inicial. La existencia de las restricciones proporciona una ventaja adaptativa desde el comienzo.

Las facilitaciones de dominio específico, innatamente guiadas, son la clave para entender las comprensiones tempranas en la infancia y han sido investigadas en diferentes dominios. En el área del lenguaje, llama la atención la precocidad y facilidad de la adquisición de la lengua oral, aún en ambientes con escasos estímulos, en contraste con las dificultades del aprendizaje de la lengua escrita, aún en ambientes donde somos “bombardeados” con textos. En la esfera del mundo físico los bebés esperan una cierta continuidad en objetos y en movimientos (Spelke, 1991), y también demuestran poseer algunos principios para distinguir lo vivo de lo no vivo según su capacidad de autopropulsión (Mandler y Bauer, 1988). Estos datos llevan necesariamente a replantear la discusión de lo innato versus lo adquirido.

Hemos trabajado (Pérez y Dibar, 2004; Dibar et al, 2003) especialmente con la perspectiva neuroconstructivista a la que adhiere Karmiloff-Smith (1992, 1998a, 1998b) que explica el desarrollo como un proceso emergente que se va construyendo a través de una interacción dinámica y compleja entre cerebro, mente y ambiente.

La adaptación biológica

Filogenéticamente, nuestro organismo ha desarrollado estructuras específicas como respuesta evolutiva a la gravedad. Un ejemplo de esto lo constituye la presencia de válvulas en las venas que permiten que la sangre pueda fluir, aún subiendo.

Ontogenéticamente, la coordinación funcional que permite la postura erguida y el

andar bípedo se va logrando en forma paulatina durante el primer año de vida del bebé. Al final del mismo, la madurez neuromuscular adquirida por el lactante, resulta suficiente como para dar los primeros pasos e iniciar un período de intensa exploración del medio, durante el cual se continúan desarrollando y afinando destrezas motoras. El aprendizaje sensoriomotor es la respuesta al problema del movimiento en un ambiente con gravedad como es la tierra.

La gravedad desde temprano

Spelke (1991) propone que los bebés poseen principios de dominio específico que guían la percepción del mundo físico y subyacen a las restricciones básicas que operan sobre los movimientos de los objetos. Estos son los principios de contacto, continuidad, cohesión e imposibilidad de acción a distancia. Estos principios siguen rigiendo las percepciones aún en los adultos.

Experiencias con bebés de cuatro meses muestran que esperan que un sólido no atravesase a otro. Otras mediciones muestran que entre los cuatro y los seis meses los bebés empiezan a inferir que un objeto que cae continuará cayendo hasta llegar a una superficie (Spelke 1991). Si queda suspendido en el aire, se asombran. Parecen “esperar” los datos que la naturaleza nos provee a diario.

En el marco de nuestras investigaciones con niños, se tomaron datos video grabados en la guardería experimental de la Universidad Federal Fluminense en Niteroi, Brasil (Vasconcellos et al, 2006). Estas observaciones fueron hechas semanalmente durante los dos primeros meses en que los pequeños (de 20 a 24 meses de edad) se adaptaban a este nuevo medio educacional. Analizamos situaciones en las cuales los chicos jugaban en los toboganes y en un sendero irregular, estudiando las adquisiciones tempranas del movimiento y el equilibrio en el mundo gravitatorio.

Cuando un niño se desliza hacia abajo en el tobogán debe aprender a mantener el equilibrio. En las videograbaciones se observa cómo los niños entrenan sus nuevas habilidades con

mayor o menor ayuda de los adultos que los acompañan. Llama la atención el interés que despierta el tobogán, por el número de veces que se tiran y cómo compiten por el turno. Esto lleva a pensar en las sensaciones de temor y placer que produce el deslizarse en caída. Lo que en un primer momento causa temor, se torna placentero y más tarde puede perder el interés que reaparece, por ejemplo, ante un tobogán de mayor inclinación. Estas sensaciones están relacionadas con la aceleración, que es lo que el cuerpo detecta.

Al igual que con las representaciones motoras, esta vivencia no aporta a la comprensión del fenómeno físico de la aceleración para diferenciarlo del de la velocidad constante. Cabe recordar la dificultad de distinguir estos conceptos durante el aprendizaje de la cinemática, aún en los cursos universitarios iniciales. Para el aprendiz de física, es una de las muchas dificultades asociadas a las nociones alternativas.

Los astronautas y la gravedad

Podemos comparar las sensaciones que acabamos de discutir con las de los astronautas en una cápsula espacial que gira alrededor de la tierra. Contrariamente a la intuición general, este movimiento es en realidad una caída libre y por lo tanto la sensación para los tripulantes es mucho más intensa que la que sienten los chicos en el tobogán. Es una sensación muy desagradable que produce náuseas; una caída que no acaba. Por esto, es indispensable entrenar a los astronautas para que esta sensación de caída libre, se vuelva primero tolerable y luego se habitúen a ella. Durante el entrenamiento se utilizan caídas con elásticos y viajes en aviones que se dejan caer durante períodos cortos³ en caída libre.

Otra dificultad en los viajes espaciales es que todo lo que está suelto flota y que hay que entrenarse para realizar movimientos con el cuerpo en esta situación. Los astronautas son entrenados en simuladores en los que se los sujeta por arneses que permiten libertad de movimientos manteniendo fijo el centro de gravedad.

El interés en saber cómo el sistema nervioso sincroniza los movimientos con y sin gravedad ha llevado a realizar experiencias en órbita acerca de los tiempos de reacción para tomar un cuerpo que cae con velocidad inicial y comparaciones con el mismo experimento en la tierra (McIntyre et al, 2001).

Las representaciones motoras, la explicitación y el aprendizaje conceptual

Las representaciones motoras se aprenden y perfeccionan en situaciones de interacción con el mundo que incluye necesariamente la gravedad y tienen la particularidad de poder perfeccionarse sin pasar a ser explícitas. Si a una persona se le pregunta cómo gateaba cuando era chico, puede describir movimientos que son totalmente diferentes a los que hace sin problemas cuando se le propone gatear, demostrando que es una representación motora que no se pierde con el tiempo. Sin embargo, la explicitación de los movimientos no se corresponde con lo que tan bien sabe a nivel motor (Piaget, 1974).

Si una persona trata de atajar un objeto que cae verticalmente en un avión, no duda en poner la mano justo debajo del objeto para hacerlo. Nadie iría a buscarlo más atrás. Sin embargo al contestar una pregunta sobre una situación similar que involucre velocidades aún más bajas como la de un tren, las personas dudan acerca de si los objetos no caerían más atrás de dónde han sido dejados caer (Hierrezuelo Moreno et al, 1987).

Pensemos en un niño que juega revoleando por sobre su cabeza una piedra atada a un piolín y la arroja hacia un blanco. Como en el caso de otras acciones físicas, el niño en su juego repetido o una persona interesada en perfeccionarse, puede entrenarse y mejorar mucho su puntería logrando maestría conductual en la tarea.

Las representaciones motoras sobre los pasos seguidos para lograr dar en el blanco seguirán siendo implícitas, aún cuando se haya desarrollado especialmente esa habilidad. Si se plantea al sujeto la pregunta “¿en qué lugar de la trayectoria suelta la cuerda?” es posible que

se obtengan respuestas propias de las nociones alternativas, por ejemplo que lo hace en el momento en que la piedra está delante de él (Piaget, 1974). La maestría conductual lograda en la tarea, mientras esta conserve su objetivo original de dar en el blanco, no llevará a la posibilidad de explicitar los movimientos que efectivamente se han realizado.

En los ejemplos presentados podemos observar que las representaciones motoras y los aprendizajes sobre el mundo físico no crecen en forma continua ni en dirección hacia un aprendizaje conceptual. La explicitación de las representaciones motoras y las representaciones necesarias para avanzar en el estudio de la dinámica no parecen seguir caminos consecutivos (Karmiloff Smith, 1992).

Las dificultades en el aprendizaje de la gravedad

Hemos visto ya que uno de los principios que guían la percepción del mundo físico, tanto en niños como en adultos, es la imposibilidad de acción a distancia entre dos objetos. La historia nos muestra dos ejemplos paradigmáticos de tal dificultad. La cosmología mecanicista de Descartes describe la naturaleza de la gravedad como un déficit entre las tendencias centrípetas y centrífugas de las partículas que, moviéndose por choques, llenan el espacio formando vórtices (Boido, 1996). Newton, en una célebre carta a Bentley dice: “es inconcebible que la materia bruta e inanimada, sin la mediación de alguna otra cosa que no sea material, haya de operar sobre otra materia y afectarla sin contacto mutuo”. Su ley de gravitación universal hubiera satisfecho a un instrumentalista pero no a él que era un mecanicista. No pudo más que intentar otras explicaciones y al no hallarlas, terminó por afirmar “no hago hipótesis” (Newton, 1996).

En el terreno de la interacción cotidiana con el mundo físico, es probable que la fascinación que ejercen los imanes se deba a que provocan un desafío a lo conocido, porque viola el “principio” de la imposibilidad de la acción a distancia. Si bien la gravedad no es percibida como una acción a distancia, es jus-

tamente eso lo que debemos enseñar como modelo. La interacción se encuentra escondida por la presencia insoslayable de la tierra e imaginar la reacción de la fuerza peso en la tierra es ciertamente contrario a la intuición. Otra dificultad adicional es que en la enseñanza se suele representar la tierra utilizando el modelo de partícula, y en ese punto se dibujan las reacciones. Esto puede ser el origen de respuestas que relacionan ciertas propiedades atribuidas a ese centro con la causa de la gravedad (Camino, 2006). También en situación de enseñanza se escuchan razonamientos en los que se confunde la afirmación “la tierra es un gigantesco imán” con que el magnetismo es el responsable de la interacción gravitatoria. Curiosamente este mismo autor no encuentra respuestas que asocien la atracción gravitatoria con la masa de los cuerpos.

En cinemática, el concepto de aceleración no resulta intuitivo. Sin embargo los alumnos aceptan sin problemas que cuando un objeto cae en caída libre, se acelera con un valor constante al que solemos llamar g . Si no se tratan de desentrañar los mecanismos de aparición de esa aceleración, el hecho que exista parece natural y no desafía la intuición.

En el tema de la gravedad se ve que no es trivial comprenderse de los términos en que están planteadas las explicaciones de los chicos y adultos. Uno de los problemas que plantea la enseñanza de los efectos de la interacción gravitatoria es que estamos respondiendo a preguntas que los alumnos no se plantearon. Los niños no encuentran motivo para tener que explicar las causas de la caída de un cuerpo y, más tarde, los alumnos suelen referirse al “peso propio” de los objetos. Aparece así una similitud con Aristóteles, que explicaba la caída de los cuerpos como una búsqueda del lugar natural de los graves, en definitiva una causa interna atribuible a la naturaleza propia de los cuerpos. Por la naturalidad y familiaridad con los fenómenos observados, la explicación newtoniana resulta más difícil y fuertemente anti-intuitiva: la fuerza peso resulta de una interacción a distancia con un cuerpo cuyo tamaño y omnipresencia lo transforman, paradójicamente, en invisible.

Todo lo que hemos dicho hasta aquí res-

pecto de la gravedad ha sido utilizando el modelo newtoniano. Sin embargo, lejos de ser un tema resuelto, la gravedad sigue hoy en el centro de la escena. De hecho el problema de la inconsistencia entre la teoría de la gravedad de Einstein y la mecánica cuántica no ha sido resuelto. La teoría de la gravedad cuántica es aún hoy una teoría en construcción (Maldacena, 2005).

Algunos ejes para una aplicación didáctica

A partir del análisis realizado hasta aquí, se puede comenzar a discutir y hacer hipótesis sobre las mejores formas de comenzar a tratar este tema en la escuela. Detalles de esta aplicación pueden ser desarrollados en trabajos posteriores, pero a manera de disparador discutiremos algunas ideas que pueden ser útiles.

Teniendo en cuenta que las mayores dificultades en la comprensión de los temas relacionados con la gravedad provienen de su carácter de acción a distancia, que haya atracción entre dos masas cualesquiera y del tamaño relativo entre la Tierra y los objetos sobre ella, se pueden pensar maneras de acercarse a esos conceptos.

El uso de imanes puede servir para que los alumnos se sorprendan, como los bebés, con la acción a distancia. Son notables los efectos de la fuerte repulsión al acercar dos imanes o de la atracción sobre pequeños objetos de hierro. Tan sorprendente resulta este efecto, que es más probable que los chicos lo relacionen con los campos de fuerzas que aparecen en las historietas, que con la caída de los cuerpos. Se propone el uso y experimentación con imanes en diversas y variadas situaciones, como juegos con limaduras de hierro o movimiento de pequeños objetos a través de superficies de separación. Llegado el momento se podrá utilizar el modelo mental construido de la acción a distancia para comenzar a entender situaciones y efectos de la gravedad.

Para que podamos comenzar a hablar del peso como una interacción, se podría partir de actividades que involucren el cuerpo y sus sensaciones, como la experimentación con objetos sostenidos con la mano y fuerzas ejercidas

sobre ella. Sin esa discusión acerca de las sensaciones, no se puede atar lo que se siente con lo que se sabe o se intenta enseñar. Empezar el tema de acción y reacción con dos personas empujándose, haciendo tomar conciencia del par de fuerzas de contacto involucrado suele ser esclarecedor para los alumnos.

El tema de la Tierra y su tamaño relativo con todos los objetos cercanos a ella, debe ser abordado para que los chicos puedan llegar a una primera comprensión básica de la gravedad. Resulta difícil pensar en algo que pueda

ser más significativo que un abordaje de la Tierra como cuerpo cósmico, dado el interés que suele despertar tanto en adultos como en niños la observación de los fenómenos celestes.

Más allá de la propuesta que hemos esbozado, estamos convencidos de que la especificidad de la cognición humana encuentra en la perspectiva del desarrollo que hemos expuesto, elementos potentes para analizar la delicada y compleja relación entre el aprendizaje y el ambiente físico con el que interactuamos.

Referencias

- Boido, G. (1996) *Noticias del planeta Tierra*. Buenos Aires: A-Z Editora.
- Camino, N. (2006) *Génesis y evolución del concepto de gravedad*. Tesis de Doctorado. UNLP. Octubre 2006
- Dibar Ure, M.C., de la Plaza, S. C. y Cafferata, M.T. (2003) Cognición y dominios específicos. *Actas del II Encontro Internacional Linguagem Cultura E Cognição: Reflexões para o ensino*. Minas Gerais. Brasil.
- Elman, J., Bates, E., Johnson, M., Karmiloff Smith, A., Parisi, D. y Plunkett, K. (1996) *Rethinking Innateness. A connectionist perspective on development*. Massachusetts: MIT Press.
- Galili, I. (1993) Weight and gravity: teachers' ambiguity and students' confusion about the concepts. *International Journal of Science Education*. 15 (2), pp. 149 – 162.
- Hierrezuelo Moreno, J. y Montero Moreno, A. (1987). *La ciencia de los alumnos. Su utilización en la didáctica de la Física y la Química*. Madrid. Ed. Laia. Ministerio de Educación y Ciencia.
- Hirschfeld, L. A. y Gelman, S. (Eds.) (1994) *Mapping the Mind, Domain Specificity in Cognition and Culture*. Cambridge: Univ. Press. Traducción al castellano: *Cartografía de la Mente. La especificidad de dominio en la cognición y en la cultura* (2002), Madrid: Gedisa.
- Karmiloff-Smith, A. (1992). *Beyond Modularity. A developmental Perspective on Cognitive Science*. Cambridge, Mass: MIT Press. Traducción al castellano: *Más allá de la modularidad. La ciencia cognitiva desde la perspectiva del desarrollo* (1994), Madrid. Alianza Editorial.
- Karmiloff-Smith, A. (1998 a) Alternatives to innate knowledge: Why development is crucial to understanding human representational change. *Cognitive Studies*, 5 (2): pp 25-32.
- Karmiloff-Smith, A. (1998 b) Development itself is the key to understanding developmental disorders. *Trends in Cognitive Sciences*. 2(10). pp 389-398.
- Maldacena, J. (2005) Agujeros negros, cuerdas y gravedad cuántica. *Revista de Enseñanza de la Física*. 18 (2) pp.105-110.
- Mandler, J. M. y Bauer, P. J. (1988) The cradle of categorization: is the basic level Basic? *Cognitive development*, 3, pp. 113-136.
- McIntyre, J.; Zago, M.; Berthoz, A. y Lacquaniti, F. (2001) Does the brain model Newton's laws? *Nature Neuroscience*. 4(7) pp. 693-694.
- Piaget, J. e Inhelder, B. (1941) *Le développement des quantités chez l'enfant*. Neuchatel: Delachaux et Niestlé. Paris. (1971) Barcelona: Nova Terra.
- Piaget, J. (1974) *La toma de conciencia*. Madrid. Morata.
- Pérez, S. M. y Dibar Ure, M.C. (2004). El lenguaje matemático en cinemática elemental: una mirada desde el cambio representacional. *Actas del 7º SIEF*. Santa Rosa, La Pampa. Argentina.
- Spelke, E. (1991) Physical Knowledge in Infancy. En Carey, S. & Gelman, R. (Eds.) *The Epigenesis of mind: Essays on Biology and Cognition*. New Jersey. Erlbaum.
- Vasconcellos, V. Colinvaux, D. Dibar Ure, M.C. y Cafferata, M.T. (2006) Theoretical Dialogue about the Development of Young Children in a Child Care Center. Symposium presentado en el *36 Annual Meeting de la Jean Piaget Society*. Baltimore.

Notas

¹ Este trabajo forma parte del proyecto UBACyT: 'Dominios y desarrollo: experimentación y conceptualización en ciencias naturales a través de diferentes perspectivas'

² Las mediciones con bebés se basan en habituar a una situación hasta que pierden su interés, observando sus reacciones ante la presentación de estímulos diferentes, sean estas sostener la mirada más tiempo o cambiar el ritmo de succión. Estos datos han sido últimamente triangulados con medidas de actividad cerebral.

³ El 28 de setiembre de 2006 fue noticia en los diarios nacionales la realización por médicos franceses de la primera operación "sin gravedad", realizada durante sucesivas caídas libres en un avión. En realidad la condición de "sin gravedad" corresponde a aquella en que tanto el astronauta como los objetos que tiene alrededor se encuentran en caída libre.