

CONCEPTOS ESPONTÁNEOS SOBRE COLISIONES

VILLANI, A. y PACCA, J.
Instituto de Física, Universidade de São Paulo

Este trabajo fue parcialmente financiado por CNPq-Brasil.

SUMMARY

This work shows Physics Graduate students ways of thinking about the phenomenon of collisions and the physical quantities which are conserved in this process.

Written questions and interviews about the described problems enabled us to analyse answers with expectations and explanations for the effect of simple and multiple collisions.

Spontaneous models which were found, show fundamental aspects also obtained in other researches with high school students, although with different frequencies depending on the level (graduate or secondary) and on the complexity of problems.

Esta investigación fue realizada con estudiantes de postgrado para conocerse la manera de pensar los procesos físicos que ocurren en las colisiones.

La solución formal dada por ellos para problemas con ese contenido encubre, muchas veces, modos de pensar no compatibles con el formalismo matemático utilizado, aunque lleve a resultados correctos. Sin embargo, ciertos problemas sencillos, pero que incluyen condiciones o factores esenciales para su comprensión son capaces de revelar modos alternativos de pensar (McDermott 1984).

Al elegir estudiantes de postgrado para esa investigación hicimos la hipótesis de que la suma de conocimiento espontáneo o intuitivo sería más fácilmente revelada en los problemas más cualitativos sobre contenido de física no directamente relacionado al trabajo profesional en sus investigaciones académicas. En este caso las concepciones presentadas por ellos y las de estudiantes de escuela secundaria serían semejantes.

Los estudiantes pertenecían al Instituto de Física de la Universidad de São Paulo, cursando postgrado para maestría o doctorado en física teórica, experimental o enseñanza de física. En la primera parte de la investigación hemos trabajado con 56 estudiantes y en la segunda parte con 59 (29 eran los mismos de la primera). La elección fue hecha con criterios prácticos, aprovechando sus disponibilidades.

METODOLOGÍA

Una bola baja en un plano inclinado por una canaleta y choca con un blanco en el plano horizontal de una mesa horizontal. Las preguntas tratan de comparar siempre dos condiciones en que las bolas incidentes y/o los blancos son de tamaños diferentes (ver apéndice).

Con ese esquema se busca obtener informaciones para analizar el papel que juegan las interacciones recíprocas entre los cuerpos en la colisión y las influencias de las simetrías presentes en el problema. Para la colisión sencilla (con una sola bola) fueron presentadas 5 situaciones; dos de las preguntas (Q1 y Q2) trataban de previsiones para el comportamiento de las bolas incidentes y de los blancos respectivos; las otras trataban de cantidades físicas importantes en el choque: energía de los blancos después del choque (Q3) y impulso cedido por las bolas incidentes (Q4). A los estudiantes se les pedía que evitasen escribir y resolver fórmulas, utilizando más razonamientos cualitativos y comparativos, explotando eventualmente la relación entre las masas. Aparte de las 5 situaciones podía utilizarse sin embargo una situación extra en la cual la bola incidente y el blanco eran iguales.

La interacción durante la colisión fue analizada con los problemas que tenían un blanco doble (colisión múltiple). En este caso habían aún cinco situaciones: en las tres primeras se comparaban colisiones múltiples en las cuales una de las bolas era distinta (la incidente, la más externa en el blanco, o la intermediaria); en las otras situaciones las bolas incidentes eran siempre iguales pero los blancos distintos, aunque manteniendo simetría respecto a la masa total. Es interesante notar que, en la última situación, después de la colisión las bolas incidente y intermediaria vuelven (despreciando el roce).

Las cuestiones Q1 y Q2 son fenomenológicas y cuando las respuestas mostraban movimientos en el mismo sentido se preguntaba si las bolas iban juntas o no.

Los problemas fueron propuestos a los estudiantes en entrevistas individuales; la duración fue de 15 a 45 minutos para las colisiones sencillas y de 20 a 60 minutos para las colisiones múltiples. El entrevistador anotaba un resumen de las respuestas en una hoja preparada para eso y al final la presentaba al estudiante para que confirmara o no el registro de sus ideas. En la secuencia se preguntaba Q1 y Q2 para las cinco situaciones y después Q3 y Q4. Eventualmente se añadía al final la situación extra suplementar. La misma secuencia se aplicaba a la colisión múltiple.

Este procedimiento permitía al estudiante volver y, por lo menos en parte, evaluar sus respuestas anteriores, confirmando o modificando.

El entrevistador se quedaba con la respuesta final, que sería el objeto de análisis en este trabajo; ésta generalmente presentaba más coherencia interna que la inicial y entonces explicitaba mejor un conocimiento articulado. El gran número de entrevistas prácticamente permitió que las formulaciones finales contuviesen todas las concepciones utilizadas por los estudiantes en algún punto de la entrevista.

Luego se percibió un hecho importante: la mayor parte de los entrevistados espontáneamente analizaba el movimiento de las bolas hasta el choque, despreciando el roce y la consecuente rotación. Los que salientaban este aspecto y la complejidad introducida, fueron invitados a

simplificar la situación en la dirección de un movimiento sin roce y sin rotación.

EXPLICACIONES DE LOS ESTUDIANTES

El análisis de los resultados cuantitativos ofrece una idea del número de estudiantes que contestan de acuerdo con el modelo newtoniano y de la presencia de criterios conflictivos en las otras respuestas (Villani 1986). Ciertamente podría hacerse un análisis apurado con esos resultados y sus correlaciones. Creemos, mientras tanto, que es más interesante pasar a las explicaciones en las respuestas para encontrar las ideas espontáneas expresadas más claramente.

Colisión simple

En la Q1 la justificativa dominante dice que el mayor alcance es debido a la menor inercia, menor peso, lo que consecuentemente da como resultado una mayor velocidad.

Los pocos ejemplos discordantes utilizan directamente la transferencia de energía como criterio para justificar los alcances de los blancos, sobre todo en la situación suplementaria

En la Q2, en general aparecen dos ideas competitivas; cuando la diferencia de masa entre bola incidente y blanco es grande, prevalece la idea de resistencia o de reacción, cuando la diferencia de masa es pequeña, prevalece la idea de transferencia total.

«En la situación 5, P1 vuelve por la reacción del blanco G1; análogamente M1, que choca con M2.»

«En la situación 3, G1 choca con P2 y continúa, mientras P1 choca con G2 y para: cuando la bola incidente tiene masa mayor vence la resistencia, cuando tiene masa menor o igual no alcanza y para.»

La mayor parte de las respuestas sobre energía (Q3) pueden dividirse en: respuestas que parten del análisis del movimiento de la bola incidente y envuelve respuestas newtonianas o con transferencia total; respuestas que enfocan el blanco y privilegian su velocidad o compensación entre masa y velocidad.

«En la situación 1, M3 tiene energía mayor, porque recibe toda la energía de M2, mientras G1 recibe solamente una parte de M1; en la situación 3, P2 tiene más energía que G2, porque P1 además de ser mucho más pequeña que G1, transfiere solamente una parte de su energía, porque vuelve.»

«P1 y M2, en la situación 4 tienen la misma energía, pues sus masas y velocidad son compensadas. En la figura 3 también P2 y G1 tienen la misma energía, porque la situación es simétrica, tenemos G1 más lento y más pesado y P1 más liviano y más rápido.»

«En las explicaciones dadas a Q4, la idea dominante es la del impulso transferido proporcionalmente a la bola incidente.»

«M1 y M2 tienen la misma masa y ejercen la misma fuerza en los blancos, en la situación 1 y 2; por lo tanto, danles el mismo impulso.»

Colisión múltiple

En las respuestas a Q1 sobre alcance de las bolas externas, varios tipos de explicaciones se destacan:

-Referente a las masas de las bolas incidentes:

«En la situación 2, M1 y M2 recorren la misma distancia, porque reciben el mismo choque de P1 y P2 y tienen la misma masa.»

- Referente al proceso de transferencia:

«En la situación 3, P1 va más lejos porque M1 transfiere toda su cantidad de movimiento y G1 no.»

«En la situación 2, M2 va más lejos porque G1 casi no transfiere energía para M1.»

- Referente al blanco y su masa:

En las respuestas a Q2, para las bolas intermedias, las representaciones no son muchas. En el caso en que ellas continúan hacia adelante, pueden ir junto con las bolas externas y, algunas veces, con velocidad menor.

«En la situación 1, G2 y G4 continúan junto con M1 y P1 recibiendo toda la cantidad de movimiento de G1 y G3; en la situación 3, M2 y M3 continúan junto con P1 y P2.»

Cuando las bolas intermedias paran, las razones pueden ser diferentes:

«En la situación 5, M1 queda casi parada, porque no logra empujar G1, mientras G2 queda en su lugar, transmitiendo todo para M2.»

«Las bolas intermedias quedan siempre en su lugar, porque transmiten toda la energía de las bolas incidentes.»

Para el comportamiento de las bolas incidentes, junto con ideas antiguas como la de parada total, una idea nueva aparece en el choque múltiple: «arrastre» del blanco.

«En la situación 1, G2 y G4 van juntos con G1 y G3 y paran juntos, así que P1 va más lejos, porque tiene menos inercia; en la situación 2, P1 bate y para junto con G1, pero P2 camina poco junto con M3 y M2 y las tres paran juntas; en la situación 3, M1 y G1 empujan los respectivos blancos M2-P1 y M3-P2.»

Otra idea muestra que todo depende del blanco total:

«En la situación 1, G1 y G3 baten y vuelven un poco, porque su masa es más pequeña que la del blanco total;

en la situación 3, G1 bate y continúa, porque empuja el conjunto M3-P2 hacia adelante; siendo su masa mayor.»

También tenemos idea de que las bolas incidentes siempre continúan:

«G1 y G3, en la situación 1, baten, continúan un poco y paran; en la situación 2, P1 y P2 continúan un poco y paran, porque transfieren una parte de su energía.»

La Q3 se refiere a la energía de la bola externa, después del choque; las justificativas pueden ser divididas en dos tipos:

-Las que apuntan para las características de las propias bolas externas, por ejemplo, velocidad y masa, como en el caso del choque simple.

«En las situaciones 1, 4 y 5 las bolas externas tienen más energía, porque tienen masa menor y velocidad mayor (energía es proporcional a v^2).»

-Las que apuntan para la interacción con la bola incidente o la intermedia.

«En las situaciones 2, 4 y 5 las bolas intermedias grandes absorben más energía que las medias y, consecuentemente, las correspondientes bolas externas tienen menos energía.»

La Q4 se refiere a la pérdida de energía de la bola incidente con el choque. La primera gran distinción en las respuestas está en los que identifican la pérdida de la energía de la incidente con la correspondiente transferencia al blanco total y los que diferencian las dos cantidades. En este último caso se tiene:

«En la situación 2, P1 pierde más energía que P2, porque la masa a ser desplazada por ella es mayor; sin embargo, ellas aportan la misma energía al blanco, porque las masas incidentes son las mismas. En la situación 3, G1 aporta más energía porque tiene más energía pero su pérdida es igual a M1, porque el blanco es el mismo; en la situación 1, G1 y G3 pierden y transfieren la misma energía porque las bolas incidentes son iguales y las intermedias también.»

Para los que identifican pérdida de energía de la bola incidente con la transferencia de energía para el blanco, las explicaciones varían. Por ejemplo:

«En las situaciones 1, 2 y 4 las bolas incidentes G1, P1 y M1 pierden más energía, porque sus respectivos blancos totales son menores: en la situación 5, P1 y P2 pierden igual porque el blanco es el mismo.»

«En las situaciones 2 y 5, las bolas incidentes no pierden energía, porque no logran mover el blanco.»

Raramente se encuentran respuestas totalmente newtonianas en la cuestión Q4.

En las explicaciones a Q5, la idea intuitiva de proporcionalidad directa entre masa de la bola incidente y

transferencia de impulso para el blanco es sin embargo dominante, análogamente al caso del choque simple.

«En las situaciones 4 y 5 las dos bolas dan impulsos iguales, porque aplican la misma fuerza y tienen el mismo tiempo de contacto.»

Otras ideas, ya encontradas en las explicaciones sobre energía, se refieren a propiedades del blanco.

«En las situaciones 2, 4 y 5 las bolas incidentes dan el mismo impulso porque existe una compensación entre masa y velocidad del blanco.»

«En las situaciones 1, 2 y 4, respectivamente, G3, P2 y M2 dan más impulso, porque su blanco total tiene masa mayor.»

La consideración opuesta es también utilizada.

«En las situaciones 1, 2 y 4, respectivamente, G1, P1 y M1 dan un impulso mayor porque el blanco total tiene masa mayor y la bola incidente vuelve con mayor velocidad; en la figura 5 el impulso transferido es el mismo.»

Dos ideas interesantes resumen esta parte:

- La proporcionalidad directa entre masa incidente y impulso dado al blanco.

- Semejanza en el mecanismo de transmisión de impulso y de energía: transmisión mayor cuando el blanco total o intermediario es menor y «más fácil de desplazar», o transmisión mayor cuando el blanco total o intermediario es mayor y la bola incidente tiene que hacer más fuerza para desplazarlo.

LOS MODELOS ESPONTÁNEOS

Las previsiones elaboradas por los alumnos permiten una interpretación global mediante varios modelos de interacción.

En la colisión simple, las ideas espontáneas de los estudiantes pueden ser articuladas en dos modelos distintos, que en muchos casos aparecen juntos.

De acuerdo con el primer modelo la bola incidente, al bajar por el plano inclinado, gana movimiento y lo almacena como «energía» o «cantidad de movimiento». Con el choque, la bola incidente «transmite» total o parcialmente su «energía» al blanco. Siempre que la bola incidente y el blanco no sean demasiado diferentes la transmisión es total: la bola incidente para y el blanco recibe toda la energía o cantidad de movimiento de la bola incidente. Consecuentemente, bolas incidentes iguales transfieren la misma energía y dan el mismo impulso al blanco, aunque sea diferente; éste tendrá velocidad mayor o menor de acuerdo con su masa. La bola de menor masa o de mayor energía tendrá alcance mayor.

Llamaremos a este enfoque *modelo de transmissão*. En esta visión totalmente escalar de las cantidades físicas envueltas en una colisión, el punto esencial es la idea de que la cantidad de movimiento pasa de un cuerpo a otro conservándose.

De acuerdo con el segundo modelo, la bola incidente, al bajar por el plano inclinado, gana movimiento y entonces «fuerza de impacto» que depende de su masa; al colisionar con un blanco parado le da un impulso hacia adelante que lo hace salir con velocidad que es tanto mayor cuanto más liviano sea. El movimiento de la bola incidente después del choque dependerá totalmente del blanco y de la resistencia ofrecida por él. Si el blanco es más pequeño no logrará frenar la bola; si igual, la frenará totalmente; si más grande, frenará totalmente la bola incidente o la empujará haciéndola volver, como si hubiera una reacción en algo semejante al principio newtoniano de acción y reacción.

Llamaremos a este enfoque *modelo de producción*. En él, la idea básica es la «fuerza activa» hecha por la bola incidente y la «resistencia» o «reacción», contraria, del blanco. La diferencia con el principio newtoniano está en que acción y reacción no están, en este caso, conectados por una idea de conservación. La acción depende de la bola incidente y será tanto mayor cuanto mayor sea su masa; lo mismo para la reacción. Entonces en el caso del blanco más grande, la reacción será mayor que la acción y la bola incidente volverá; si es más pequeño no hace más que detenerla.

Cada uno de los modelos tiene alguna dificultad. El primer modelo no explica bien los siguientes hechos: el retorno de la bola incidente, el impulso dado al blanco y también la cantidad de movimiento del blanco será mayor que aquella de la bola incidente. El segundo tiene dificultad para prever la energía y impulso del blanco a partir del movimiento de la bola incidente, porque no hay una conexión entre la acción de la bola incidente y la reacción del blanco.

Es interesante notar que se encuentra muchas veces el modelo de transmisión solo, pero esto no ocurre con el modelo de producción; la mayoría de los estudiantes utiliza alguna forma de conservación de la energía y/o cantidad de movimiento; excluyéndose las (raras) respuestas totalmente newtonianas, hay un grupo grande que utiliza una mezcla de los dos modelos.

Parece que el alumno asimiló la idea de conservación de energía estudiada en la escuela, pero interpretándola con el «modelo de transmisión»; la conservación de la cantidad de movimiento adquiere un carácter escalar y la idea de «acción y reacción» en una concepción alternativa (Terry 1986, Brown 1987) explica el comportamiento de la bola incidente delante del blanco.

Las ideas de los estudiantes relativas a colisión múltiple serán articuladas en tres modelos que llamaremos: *colisión independiente* —enfocando dos interacciones independientes: entre bola incidente y intermedia y entre ésta y la externa—; *colisión global* —enfocando el choque con el blanco total—; *colisión con acoplamiento* en que

la bola intermedia es solamente transmisora entre las otras dos.

En el modelo que considera el blanco total hay dos posibilidades: el blanco continúa como si fuera una única bola o se separa y cada una adquiere su velocidad propia.

En el modelo de colisión con acoplamiento que es poco frecuente es posible una transmisión «en reposo», donde la bola intermedia se queda parada, o «en movimiento», donde la bola intermedia es simplemente arrastrada por la bola incidente sin despegar de ella.

Las ideas sobre energía y impulso, sobre todo las que sostienen la proporcionalidad entre pérdida de energía con la masa del blanco y la desigualdad entre la energía perdida y la transmitida, sugieren una idea de elasticidad donde la velocidad de la bola incidente después del choque será tanto menor cuanto mayor sea el obstáculo. Por otro lado, la energía y el impulso transmitidos dependientes directamente de la masa del blanco sugieren la idea de «movimiento» que pasa más fácilmente cuanto más liviano sea el blanco o cuanto «más fuerza haga» la bola incidente; esto también se encontraba en la colisión simple.

Los modelos presentados de modo general rinden cuenta de las respuestas para colisiones simples y múltiples. Mientras tanto son más frecuentes en las últimas. ¿Cómo explicarlo?

Algunos indicios se pueden obtener con resultados de investigaciones semejantes en estudiantes de la escuela secundaria: Mariani (1987) en su trabajo encuentra las siguientes ideas fundamentales:

- 1) Modelos de tipo «arrastramiento», «producción» y «transmisión» total o parcial, con una posible jerarquía dependiente de la escolaridad.
- 2) «Eficacia» reducida por parte de la bola incidente y «elasticidad» incompleta, sobre todo en presencia de blancos mayores.

- 3) «Acción y reacción» como propiedad no conservativa.

Terrazan (1985) encuentra una asociación entre energía y masa (como una substancia que se puede almacenar) y entre energía y movimiento (como una substancia que puede ser gastada o transmitida).

El análisis de las explicaciones de los alumnos de postgrado muestra características semejantes: mientras tanto, en la colisión simple no aparecen algunas ideas más primitivas como el «arrastramiento» y la «inelasticidad»; también la idea de «producción» de movimiento es casi siempre asociada a algún tipo de conservación escalar de energía y/o cantidad de movimiento.

En efecto, estas ideas más primitivas aparecen en la colisión múltiple sin que haya razón clara en el contexto de la situación del problema para explicar esta ocurrencia.

La impresión general es que las nuevas situaciones representadas por colisiones múltiples tengan dificultad en la utilización de esquemas formales; en efecto no había fórmula para ayudar a localizar el blanco propio de la interacción, lo que dejaba a los estudiantes inseguros y más permeables a sugerencias internas, y como consecuencia usaban sus ideas intuitivas; esto se muestra al investigador como una «regresión» a interpretaciones más primitivas (Viennot 1989). Estas conclusiones son coherentes con los resultados de una investigación realizada con estudiantes de postgrado sobre velocidad de la luz y relatividad (Villani 1987).

Si esto es correcto, se puede decir que los esquemas formales aprendidos en la escuela tienen un territorio bien definido, donde pueden ejercer su dominio y desarticular las ideas intuitivas; este territorio es determinado por las situaciones-problemas resueltos en la escuela, situaciones en las cuales las fórmulas, más que los modelos físicos, son auxilio eficaz. Aunque derrotadas en aquellos territorios, las ideas intuitivas no desaparecen, permaneciendo en estado latente, casi endémico, listas a reaparecer ante cualquier desliz o incertidumbre del estudiante.

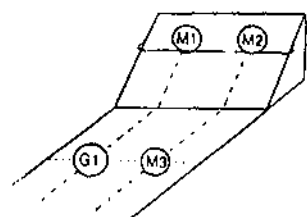
APÉNDICE

Problema de colisión simple

En la figura de abajo hay dos bolas de billar en el plano inclinado y dos en el plano horizontal. Son hechas del mismo material duro y pueden tener tres tamaños: P (pequeña), M (mediana) y G (grande). Suponga, por simplicidad, que las pequeñas pesen la mitad de las medianas y éstas la mitad de las grandes. Las bolas son identificadas por un número que permite distinguir bolas del mismo tamaño (G1, G2, M2...). La bolas

del plano inclinado son lanzadas, al mismo tiempo, de una misma altura respecto al plano horizontal, con la retirada de un obstáculo. Las líneas trazadas en la figura muestran el camino recorrido por las bolas. El choque es frontal y los movimientos unidireccionales. El plano horizontal está cubierto con un paño como en una mesa de billar.

Diferentes situaciones S son presentadas y las cuestiones valen para cada una de ellas.



(corresponde a la situación 1)

S.1	S.2	S.3	S.4	S.5	S.extra
M1 - G1	M1 - P1	G1 - P2	G1 - P1	P1 - G1	P1 - P2
M2 - M3	M2 - M3	P1 - G2	M1 - M2	M1 - M2	M1 - M2

Q1. ¿G1 va más o menos lejos que M3? ¿Por qué?

Q2. ¿Qué se pasa con las bolas M1 y M2 después de chocar con G1 y M3 respectivamente? ¿Por qué?

Q3. ¿Después del choque G1 tendrá energía mayor, igual o menor que M3? Por qué?

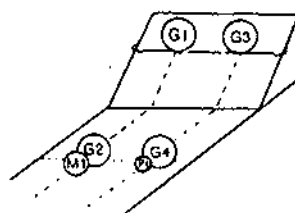
Q4. ¿El impulso que M1 da a G1 es mayor, igual, o menor que el impulso de M2 para M3? ¿Por qué?

Problema de colisión múltiple

En la figura de abajo hay dos bolas de billar en el plano inclinado y cuatro en el plano horizontal. Éstas son del mismo material y pueden ser de tres tamaños: P (pequeña), M (mediana), G (grande). Suponga, por simplicidad, que las pequeñas pesen la mitad de las medianas y éstas la mitad de las grandes. Las

bolas son identificadas por un número que permite distinguir bolas del mismo tamaño (G1, G2, M2...). Las bolas del plano inclinado son lanzadas, al mismo tiempo, de una misma altura respecto al plano horizontal con la retirada de un obstáculo. Las bolas chocan frontalmente con los blancos en el plano horizontal y todos los movimientos son unidireccionales. Las líneas trazadas muestran los caminos recorridos.

Diferentes situaciones S son presentadas y las cuestiones valen para cada una de ellas.



situación 1

S.1	S.2	S.3	S.4	S.5
G1 - G2M1	P1 - G1M1	M1 - M2P1	M1 - G1P1	P1 - M1G1
G3 - G4P1	P2 - M3M2	G1 - M3P2	M2 - M3M4	P2 - G2M2

Q1. ¿Cuál de las bolas P1 y M1 va más lejos? ¿Por qué?

Q2. ¿Qué pasa con G1, G2, G3 y G4 después del choque? ¿Por qué?

Q3. ¿Cuál de las bolas externas P1 y M1 tiene más energía después del choque? ¿Por qué?

Q4. ¿Cuál de las bolas incidentes G1 y G3 pierde más energía con el choque? ¿Por qué?

Q5. ¿Cuál de las bolas incidentes G1 y G3 da mayor impulso al blanco durante el choque? ¿Por qué?

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BROWN, D. y CLEMENT, J., 1987. Misconceptions concerning Newton's law of action and reaction. The underestimated importance of the third law. Proc. II Int. Seminar, Misconception and Educational Strategies in Science and Mathematics. Vol. III, ed. J.D. Novak, pp. 39-53.

LAWSON, R.A. y McDERMOTT, L.C., 1987. Student understanding of the work-energy and impulse-momentum theorems, *Am. J. Phys.*, Vol. 55, pp. 811-817.

MARIANI, M.C., 1987. A Evolução das Concepções Espontâneas sobre Colisões, Tesis de Maestría, Universidade de S. Paulo, Brasil.

McDERMOTT, L., 1984. Research on conceptual understanding in mechanics, *Physics Today*, Vol. 37(7), pp. 24-37.

TERRAZAN, E.A., 1985. A Conceituação Não-Convencional de Energia no Pensamento dos Estudantes, Tesis de Maestría, Universidade de S. Paulo, Brasil.

TERRY, C. y JONES, G., 1986. Alternative framework: Newton's third law and conceptual change, *Eur. J. Sci. Educ.*, Vol. 8, pp. 291-298.

VIENNOT, L., 1989. La didáctica en la enseñanza superior. ¿Para qué?, *Enseñanza de las ciencias*, Vol. 7, pp. 3-13.

VILLANI, A., 1986. Conteúdo Científico e Problemática Educacional na Formação do professor de Ciência, Cap. V - Noções Espontâneas Após a Formação, Tesis de Licenciatura, Universidade de S. Paulo, Brasil.

VILLANI, A. y PACCA, J.L.A., 1987. Student's Spontaneous Ideas About Speed of Light, *int. Jour. Sci. Educ.*, 9(1), pp. 55-66.