

CAUSALIDAD Y OPERACIONES EN LA INTERPRETACIÓN DE LAS CONCEPCIONES ESPONTÁNEAS

PACCA, J. L.A. y SARAIVA, J.A.F.

Instituto de Física. Universidad de São Paulo.

Centro de Ensino de Ciências e Matemática. Universidade Federal de Minas Gerais.

SUMMARY

This work analyses aspects of Piaget's genetic epistemology concerning the construction of the notion of causality which, although being developed in parallel with the operatory notions, cannot be identified with them. Such differentiation is important to understand the knowledge of students shown through spontaneous conceptions. The idea of necessity, which in Piaget's theory, is essential for the construction of causal relations, is considered here as a relative necessity, making sense and having value when referred to a system of explanation. Considering alternative conceptions as models of explanation of physical phenomena, the relations in these models must be causal and necessary in respect to a physical system, incomplete and inadequate as it might be.

La teoría epistemológica de Piaget puede dar una contribución esencial a la enseñanza de la física cuando se considera el contenido de la teoría respecto al proceso de construcción de conocimiento con el desarrollo de modelos explicativos del mundo físico (real). Esa teoría, en el aspecto en que es más conocida rinde cuenta perfectamente de la estructura mental del sujeto adulto (el sujeto epistémico) así como de ciertos estados de esa estructura que están ya bien definidos y caracterizados. Pero, hay otro aspecto no menos importante que rinde cuenta del conocimiento del contenido físico, aquél que constituye los modelos de la naturaleza y que es utilizado por el sujeto para resolver los problemas que encuentra.

La estructura mental del sujeto es constituida por elementos de naturaleza operatoria y de naturaleza causal: los primeros componen el grupo INRC de operaciones y junto con la causalidad forman su potencial inteligente.

Lo que es más interesante en este aspecto es el propio proceso que se establece en la interacción del sujeto con el mundo físico: en la medida que actúa sobre los objetos; atribuye "acciones" a ellos, coordina dichas acciones, pudiendo entonces evolucionar tanto en el conocimiento de la realidad que lo envuelve como en la complejidad de las estructuras que él potencializa. Los dos aspectos se construyen simultáneamente gracias a ese proceso en cierto modo recurrente que es llamado "equilibración".

Operaciones y causalidad se construyen paralelamente por la acción del sujeto con los objetos reales, a medida

que elabora su instrumental cognitivo; principalmente en las fases iniciales de la construcción del conocimiento, hay una intensa colaboración entre las dos sin que haya primacía de una de ellas.

La noción de causalidad que el sujeto construye en su desarrollo cognitivo representa la posibilidad de que existieran relaciones entre los hechos con que él se encuentra y la explicación de dichas relaciones. Las operaciones representan las formas de esas relaciones, llegando a un conocimiento del mundo físico que es el conocimiento científico establecido. El sujeto real adulto bien formado deberá tener un potencial inteligente de estructuras operatorias y causales como el sujeto epistémico, pero con un conocimiento del mundo físico no necesariamente igual al conocimiento científico establecido. Significa decir que en la construcción del conocimiento físico el sujeto real recorre caminos alternativos no recorridos por el sujeto epistémico.

Mientras tanto, hasta la fase adulta hay un largo camino para recorrer en que las cosas se construyen. Al principio del desarrollo, operaciones y causalidad, se confunden. La presencia de los objetos es necesaria como para que dé cuerpo a las operaciones, sus movimientos materializan las relaciones operatorias y causales en un contexto en que las inferencias por parte del sujeto son incipientes; el sujeto mismo es parte de la relación que se establece entre los objetos.

A medida que el conocimiento se construye, causalidad y operaciones van diferenciándose gradativamente, ganando papeles específicos: "la causalidad expresa las transformaciones de la realidad, mientras las operacio-

nes traducen las de una estructura racional" (Ramos-Chiarottino 1979).

En esta evolución ciertos marcos están bien ubicados y sus características bien establecidas; en lo que concierne a las operaciones hay distintos niveles: pre-operatorio, operatorio concreto y operatorio formal. En lo que concierne a la causalidad están los niveles que van de la precausalidad hasta la causalidad completa y objetiva. El proceso general descrito por Piaget para explicar la construcción de estructuras mentales (operatorias y causales) del sujeto epistémico parece claro: asimilación y acomodación de estructuras mediadas por la acción del sujeto y una tendencia a la equilibración que él llama de mayorante (porque es constructiva, transpone siempre a un nivel superior a través de la recomposición de lo que había anteriormente). Más complejo parece ser el proceso de adquisición de un conocimiento específico (por ejemplo el contenido de la física moderna) por el individuo adulto. Primero porque puede estar o no con su potencial inteligente completo; segundo porque, estando, necesita construir teorías nuevas sobre los hechos también nuevos.

LA CAUSALIDAD EN LOS FENÓMENOS FÍSICOS

Cuando se enseña la física a los estudiantes adolescentes que empiezan a aprenderla, se percibe que el aprendizaje no es inmediato y el hecho parece incoherente con lo esperado. Por un lado, los adolescentes deben ya haber pasado por todos los estadios de desarrollo de la estructura mental. Por otro lado, las investigaciones sobre conceptos espontáneos muestran que hay modelos alternativos, quizá relaciones causales "incorrectas" que son utilizadas para resolver problemas físicos.

Ora, modelos de la naturaleza son esencialmente relaciones causales no observadas que interligan hechos observados, entonces es en la atribución de causalidad que se debe buscar comprender ese conocimiento.

Para llegar a la relación causal entre una colección de observables, el sujeto debe conferir a los datos reales, que inicialmente muestran apenas una sucesión temporal, una transformación responsable por la alteración ocurrida entre la situación inicial y la final, y una conservación que rinde cuenta de algo que se mantiene después de la transformación. La relación contenida en una teoría física debe ser atemporal, conectando elementos estables que representan variables físicas significativas. Es como si la conservación se refiriera a elementos esenciales del objeto, y la transformación, a propiedades de la esencia del objeto bajo ciertas condiciones en que ocurre la transformación, o sea, a capacidades del objeto atribuidas por el sujeto que intenta comprender el sistema físico.

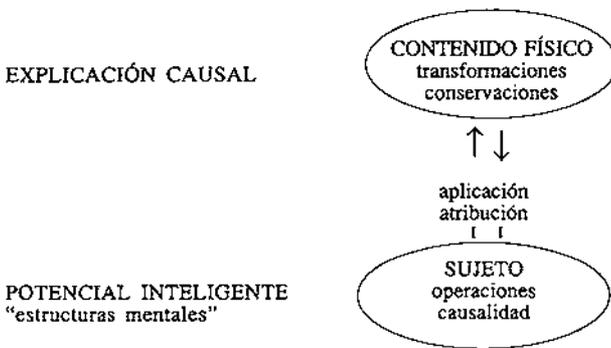
La atribución de capacidades a los objetos puede darse con diferentes grados de valor explicativos. Una relación causal necesaria no es algo que se obtiene a través de simples observaciones de regularidades y de explicaciones.

En otras palabras, transformación y conservación necesarias para la construcción de la relación causal no es cualquiera porque la relación causal debe estar incluida en un sistema explicativo del cual se deduce la relación. Es, por lo tanto, una inferencia y por eso rinde cuenta del efecto producido por una particular transformación y de la necesidad de ese resultado. Así la relación se "despega" de los objetos asumiendo el mismo carácter abstracto de las operaciones. En resumen, representa todas las transformaciones posibles reunidas en una totalidad con propiedades nuevas.

Esto no es tan sencillo de comprender y hay que analizar, en la teoría de Piaget, el proceso de abstracción reflexiva y las ideas de posible y necesario, en el proceso de atribución de transformaciones al mundo real.

La cuestión del sistema que se debe configurar cuando se establecen relaciones causales es particularmente importante para la enseñanza de la física y para comprender los conceptos alternativos o conceptos espontáneos presentados por los individuos, y que son considerados errores desde el punto de vista de los especialistas.

Hasta ahora hicimos una tentativa de comprender la teoría de Piaget y reducirla a lo que tiene de esencial para el tema. Las ideas presentadas pueden ser pues esquematizadas como sigue:



LA CAUSALIDAD EN LAS CONCEPCIONES ESPONTÁNEAS

Las concepciones llamadas espontáneas o alternativas, manifestadas por gran parte de los estudiantes de física y características de los no especialistas, son sin duda modelos de funcionamiento de la realidad; o sea, son contenidos de cierta manera estructurados, que se refieren a alguna relación de causa y efecto que se procesa en un sistema enfocado. Dicha relación contiene ciertamente, los dos aspectos de producción y transformación que explican la transmisión causa-efecto.

El modelo construido representa ciertas operaciones que se realizan sobre los elementos significativos que identifican el objeto. El sujeto necesita entonces atribuir significado a algunos elementos que él considera

esenciales en el sistema, y aplicar operaciones que expliquen las transformaciones que ocurren.

Por ejemplo, al observar el equilibrio en una balanza para conceptuar el peso, el sujeto apela a la superficie de contacto entre el cuerpo y la balanza y concluye que debe haber una relación inversa entre ésta y el peso. Hasta que no realice el experimento y tenga acceso a otras observaciones, ése será su modelo de peso.

En verdad ese modelo no es riguroso pero es coherente con una serie de situaciones que el sujeto vive diariamente, situaciones que para el especialista ya llevarán a una diferenciación entre dos conceptos: peso y presión.

Mientras tanto para el lego que mantiene aquella concepción espontánea se establece una relación causal necesaria respecto a un sistema físico muy particular y limitado desde el punto de vista de un especialista. Su limitación en este caso está en la caracterización del objeto, en la elección de los elementos esenciales para el proceso considerado y en la reducción del fenómeno a la "interacción" del objeto con la balanza.

Es entonces necesario que muchas otras experiencias se añadan para que un nuevo sistema pase a ser referencia para una nueva relación causal necesaria. En este sistema otros elementos serán significativos y la relación causal anterior dejará de ser necesaria.

Esa idea de la relatividad de la necesidad de la relación causal con el sistema del cual ella se deduce explica las situaciones encontradas tanto en las investigaciones sobre concepciones espontáneas como en los trabajos realizados por Piaget y sus colaboradores.

En el caso de las concepciones espontáneas se explica la ocurrencia y persistencia de ciertos modelos que son utilizados equivocadamente por los estudiantes aunque la escuela les enseñe lo correcto. Si la enseñanza en la escuela no fue capaz de alterar la concepción más profundamente, reconstruyendo todo un sistema físico de conservaciones y transformaciones para contener las relaciones causales que serán expresas por el algoritmo matemático, el sujeto no abandona aquél en que cree y en el cual las relaciones causales son necesarias. Por eso los individuos atribuyen la existencia de una fuerza siempre que hay movimiento y confunden fuerza con energía y movimiento, en la mecánica; atribuyen una capacidad activa al ojo y no comprenden la formación de una imagen; admiten que la corriente eléctrica se presenta bajo dos tipos (positiva y negativa) y no se sorprenden con circuitos abiertos, etc.

OPERACIONES FORMALES Y CAUSALIDAD EN PIAGET

En los experimentos realizados por Piaget y sus colaboradores hay una situación bastante interesante para ser considerada en esta discusión. Trátase del experimento en que niños estudian el movimiento de un cuerpo en un plano horizontal y deben llegar al principio de la inercia.

Es Piaget quien afirma al inicio del texto en que describe ese experimento:

"El interés de los problemas planteados —previsión de los puntos de detención al variar la magnitud y el peso de las bolas y explicación de los movimientos observados— reside en el hecho de que, si las operaciones concretas de seriación y establecimiento de correspondencia permiten establecer un cierto número de relaciones entre las propiedades de las bolas y los puntos de detención, la noción de la conservación del movimiento inercial escapa en cambio por su naturaleza al dominio "concreto", puesto que esta conservación de hecho es irrealizable en las condiciones ordinarias de la experiencia". (Piaget 1976).

En la conclusión, el mismo texto afirma:

"... en el caso de la conservación del movimiento, la reversibilidad operatoria sólo desempeña un papel en el nivel del pensamiento y no corresponde a una transformación que el sujeto pueda realizar en su integridad, incluso en un laboratorio. Si suponemos que se logra suprimir (lo cual es imposible) todas las causas de disminución de la velocidad, debería además disponerse de la infinitud del espacio y del tiempo para obtener una verificación completa del principio de inercia. No obstante el sujeto del nivel III B logra descartar esas causas de detención en su pensamiento, cuando se coloca de entrada en el terreno de lo posible puro o absoluto (irrealizable), y por lo tanto, de la implicación puramente hipotético-deductiva".

"Esta reversibilidad equivale, si se quiere, al famoso principio *tollitur causa, tollit effectus*, sin embargo, por una parte, había que colocarse desde el punto de vista de lo posible puro para conseguir suprimir las causas de este fenómeno particular, y, por la otra, ya que las causas en juego no son eliminables en la práctica, la operación equivale entonces a la inversión de una implicación en su inversa, pero cambiando de signos; por lo tanto, procediendo con puras implicaciones y ya no con transformaciones realizables en la práctica". (Piaget 1976).

Estamos de acuerdo en que, desde el punto de vista de las operaciones realizadas, se alcanzó un nivel de abstracción y de complejidad de relaciones matemáticas equivalentes al que Piaget llama de nivel operatorio formal. Mientras tanto, no se puede creer que él haya obtenido una verificación del principio de la inercia, y que la dificultad esté en el hecho de no "disponerse de la infinitud del espacio y del tiempo".

En el experimento, los niños de 14 años llegan a comprender que el movimiento sería invariante si no hubieran fuerzas de roce, resistencia del aire y otras de tipo disipativo; o sea, los sujetos ven básicamente dos etapas: la primera identificando los factores responsables por la reducción de la velocidad y la segunda en la que identificando el resultado de la negación de esos factores; por lo tanto, estableciendo una relación de causa y efecto para explicar el fenómeno a partir de elementos

tomados como esenciales y significativos en un sistema considerado.

CAUSALIDAD RELATIVA AL SISTEMA

Asumir el movimiento invariante no garantiza haber comprendido el principio de inercia. Es necesario, además, concebir que el movimiento que la bola tiene y que puede o no agotarse bajo ciertas condiciones es un atributo relativo a un referencial y no propiedad del objeto, teniendo la misma posición del reposo. Esta concepción no es adquirida por los sujetos por medio de ese experimento porque es un resultado que trasciende la experiencia, es una idealización y no es derivado directamente de los hechos.

Retomemos el discurso de los sujetos que llegan al nivel formal y explican la invariación del movimiento lógicamente. (Piaget e Inhelder 1976).

Las expresiones de DEV: "Tiene fuerza en sí misma"; RAS: "Teóricamente debería ir hasta el extremo, pero es muy ilógico" y DESB: "Si se envía con el mismo impulso..." muestran que el hecho de tener movimiento implica la existencia de una fuerza que lo mantiene y tal vez los sujetos continúen con las dudas: ¿Quién dio la fuerza inicial para tener el movimiento? Si las bolas no hubieran sido lanzadas, ¿no estarían paradas?

Para llegar a la ley de la inercia es necesario buscar los elementos significativos del sistema en la explicación del propio movimiento y su producción, más que en los factores que lo reducen o cancelan. Reflejando sobre estos factores será posible llegar a un nuevo sistema con relaciones causales necesarias: un sistema que concede el movimiento relativo, la misma posición de reposo, del cual se deduce la ley de inercia.

COMENTARIOS FINALES Y CONCLUSIONES

Dos tipos de conclusiones se pueden extraer de la discusión presentada. Uno de carácter analítico y crítico y otro de valor prescriptivo y pedagógico.

En el primer caso se ponen las cuestiones sobre el contenido de las experiencias piagetianas y sobre el valor de las "pruebas piagetianas" para clasificar a los individuos de acuerdo con niveles operatorios.

Sin duda las entrevistas piagetianas muestran claramente dos diferentes niveles de las respuestas en lo que concierne a las estructuras operatorias en juego. Sin

duda, también ellas muestran claramente los elementos físicos que están siendo enfocados y la relación causal que se les atribuye. Mientras tanto, presentar capacidad operatoria en el nivel formal no quiere decir que se haya adquirido la comprensión física en el nivel de elaboración (causal) actual de los especialistas.

Las pruebas piagetianas para medir niveles operatorios deben ser consideradas también con mucho cuidado: el desempeño de un sujeto frente a un problema es ciertamente dependiente del contexto del problema al cual él debe atribuir significado físico.

En el segundo caso, algunas consecuencias importantes son las siguientes:

1º Si la existencia de un sistema es importante para abrigar una relación causal necesaria y si la enseñanza de la física quiere alcanzar este tipo de conocimiento necesario, parece razonable que en las clases se muestren y discutan un extenso universo de situaciones reales de modo a ampliar al máximo el conjunto de posibilidades en que lo que es necesario deba ocurrir. Producir un cambio conceptual en el sujeto significa hacerle reelaborar el sistema explicativo de los fenómenos reales. Desconocemos cómo se procesa dicha reelaboración pero ciertamente va a depender de la presencia y de la manipulación de experimentos en gran medida.

2º Si, por un lado, la cantidad de experimentos parece importante, ciertamente no es suficiente. Es el propio Piaget quien afirma que un experimento solo tiene sentido si existe una teoría que lo abraza. No existen datos reales puros, tampoco teorías necesarias que deriven directamente de ellos. En las clases de laboratorio es importante tener claro el papel de un experimento programado. No debe ser utilizado para obtención de leyes y principios, aunque sea de gran valor pedagógico en muchos otros aspectos.

3º Es muy importante tener profesores competentes, con conocimiento del contenido específico y con disposición para interactuar y discutir con sus alumnos. Solamente con competencia el profesor será capaz de reconocer en el discurso de sus alumnos los detalles de contenido y el sistema físico que hay detrás del discurso. Para esto, los resultados de las investigaciones sobre concepciones espontáneas son ayudas fundamentales y deberían ser transmitidos a los profesores a través de cursos regulares de actualización. También la historia de la ciencia es una contribución valiosa como sugerencia de diferentes concepciones de la naturaleza concretadas en teorías que tuvieron su valor y que son todavía aceptadas hoy por gran parte de los individuos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- MC DERMOTT, L., 1984. Research on conceptual understanding in mechanics, *Physics Today*, July 1984.
- PIAGET, J., (colaboración de R. Gracia), 1973. *Las explicaciones causales*. (Barral Editores: Barcelona).
- PIAGET, J., 1976. *A Equilíbrio das estruturas cognitivas*. (Zahar Editores: Rio de Janeiro).
- PIAGET, J. y GARCÍA, R., 1982. *Psicogénesis e Historia de la Ciencia*. (Siglo XXI Editores: Madrid).
- PIAGET, J. y INHELDER, B., 1976. *Da lógica da criança à lógica do adolescente*. (Pioneira: São Paulo).
- RAMOZZI-CHIAROTTINO, Z., 1981. Causalidade e operações em Piaget, *Ciência e Filosofia*, 1, pp. 73-83.
- SOLIS VILLA, R., 1984. Ideas Intuitivas y Aprendizaje de las Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, Junio, pp. 83-89.
- SOLOMON, J. et al., 1985. The pupil's view of electricity. *European Journal of Science Education*, Vol. 7(3), pp. 281-294.
- TIBERGHEN, A., et al., 1980. Conception de la lumière chez l'enfant de 10-12 ans, *Revue Française de Pédagogie*, Vol. 50.
- VIENNOT, L., 1979. *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*. (Hermann: Paris).