

## ELEMENTOS CINETICO-GEOMETRICOS y dinámicos del movimiento. Sociogénesis y psicogénesis

Giuliana Vicarioli de Govaere

### INTRODUCCION, METODOLOGIA

Existe la idea generalizada de que la comprensión de los temas del movimiento, temas fundamentales en la formación de la Física Clásica, se produjo históricamente en forma muy tardía. Por otra parte, muchos educadores y tecnólogos de la educación parecen considerar que también en el niño la comprensión de estos temas se desarrolla muy tarde. Así, por ejemplo, los contenidos de física de los actuales programas de ciencias del Ministerio de Educación Pública, no introducen los temas de cinemática y dinámica hasta el 11° año, en forma posterior a otros temas de mecánica como presión atmosférica (4°, 5° y 7° año) y conservación de la energía (2°, 5°, 7°, 8° año) etc. Estudios recientes apuntan al hecho de que lo anterior parece provocar una falta de encadenamiento en los conceptos, que podría ser uno de los factores responsables del bajo rendimiento escolar en el campo de la física<sup>1</sup>.

Este trabajo es un intento de poner en entredicho lo anterior y para ello se analizará con método histórico-crítico y luego con método psicogenético<sup>2</sup> el problema de saber si la dinamización del movimiento puede desarrollarse en forma independiente de la geometrización, o si la comprensión de una es necesaria para la otra y en este caso, cuál es el orden en que se produce esa comprensión.

Tal vez sea conveniente, antes de delimitar el problema, hacer algunas reflexiones acerca de la

posibilidad y utilidad de usar ambas metodologías en forma contemporánea.<sup>3</sup>

Debe ante todo quedar claro que no se pretende sugerir que la sociogénesis recapitule la ontogénesis ni viceversa, ni tampoco establecer analogías banales en cuanto a los contenidos. Esto resultaría ingenuo, ya que la historia ni es simple acumulación de datos, ni sigue un proceso lineal donde los modelos se suceden mejorándose y englobándose. La historia de la ciencia no puede asimilarse, como lo hace Pascal, a un sólo hombre que aprende indefinidamente.

Sin embargo, si se considera el aumento de conocimiento como un proceso humano de adaptación de experiencias externas a estructuras internas, y si se acepta que esto sucede a nivel individual (psicología del desarrollo) y a nivel social (historia de la Ciencia), parece razonable querer establecer relaciones que den cuenta de ciertos encadenamientos y ciertas secuencias y, sobre todo, buscar los mecanismos comunes —si es que existen— entre la sociogénesis y la ontogénesis, que permitan explicar las rupturas epistemológicas (rupturas en el sentido de Bachelard) provocadas en el paso de un nivel de conocimiento a otro.

### ESCOGENCIA DEL TEMA

El tema del movimiento parece ser extremadamente interesante para hacer compatibles ambas metodologías; en efecto, las etapas precientíficas están muy bien documentadas, cosa que no sucede

en otros casos; y además, los progresos en este campo afectaron en modo decisivo la formación de la Física Clásica. El carácter de paradigma que Khun asigna a la mecánica no es en realidad nada nuevo; ya en tiempos de Galileo existía el adagio "Ignoratum motu, ignoratum natura".

En el desarrollo cognoscitivo del sujeto, por otra parte, las regulaciones y representaciones del movimiento son de gran importancia. En la comprensión formal del movimiento convergen las informaciones sobre la naturaleza física externa de los objetos y los aportes debidos a la estructura geométrico-cinética provenientes de las estructuras internas del sujeto. Es un dominio donde se elaboran formas de organización que se transportan luego a otros campos. El sujeto asimila todo movimiento de los objetos a movimientos realizados por él, y los arreglos dinámicos requeridos sólo se aseguran por medio de los controles de geometrización que realiza el sujeto.

En efecto, las informaciones sobre los movimientos de los objetos pueden ser esencialmente de dos tipos:

- Dinámicos (aplicación de fuerzas, intensidades, resistencias).
- Geométrico-cinéticos (formas, amplitudes, direcciones, llegadas, etc.)

En cada movimiento que efectúa el sujeto existe la conciencia de ambos. Se puede entonces preguntar si uno influye en el otro y sobre todo en qué forma se produce esta influencia. La pregunta queda pues planteada: ¿Es el conocimiento de los aspectos dinámicos el que condiciona los aspectos geométricos o al contrario, los aspectos geométricos condicionan la comprensión de la dinámica? O bien, ¿son estructuras separadas sin interrelaciones?

## PARTE A

### El problema desde un enfoque histórico-crítico

No se pretende a continuación hacer un resumen, ni siquiera esquemático de la evolución de las ideas sobre el movimiento. Esto representaría un trabajo inmenso e innecesario dada la magnífica bibliografía de que se dispone.<sup>4</sup> Lo que se intentará es una caracterización, de ciertos períodos en cuanto al tipo de motivación, a las preguntas que se plantearon, es decir, al marco epistemológico. Cabe hacer hincapié en que, como cualquier otra esquematización que se pretende, ésta será necesari-

amente un tanto arbitraria y, dada la complejidad del tema, ciertamente engañosa en su simplicidad.

### 1 ETAPA, Jonia

La audacia de los pensadores jónicos, audacia que permitió el nacimiento de la ciencia, fue el contestar afirmativamente a la pregunta de que si bajo la infinita diversidad y cambio del mundo que percibimos existe un único principio inteligible.

Los primeros esquemas cinéticos de condensación y rarefacción de Anaxímenes centran el problema de la inteligibilidad del mundo en el mecanismo mismo, es decir, el movimiento. "Dilatándose y condensándose el aire aparece en diferentes formas . . ."

Con Heráclito la transformación es la ley fundamental del universo.

Zenón, siguiendo a Parménides quien contrapone la sensible a lo inteligible, lo real a lo conocido, en sus célebres "aporías", quiere probar la imposibilidad del movimiento pues éste no puede pensarse lógicamente ni como divisible al infinito ni como indivisible. En la negación misma del movimiento lo pone en una posición central.

Para Demócrito, el universo se compone de átomos y vacío. Los átomos son eternos, indivisibles e infinitos y están en movimiento. El movimiento resulta así un atributo esencial de los átomos que se mueven "en el vacío infinito en el que no hay ni alto ni bajo, ni centro ni extremidad". Gracias a este movimiento eterno se producen, al azar, todas las agrupaciones y combinaciones posibles.

En síntesis, el período jónico da al movimiento, por sí, una significación fundamental. El movimiento forma la base misma de la estructura del universo. Pero es un movimiento cuya significación es puramente cinemática. La causa dinámica está ausente. Nada está orientado teleológicamente. Aristóteles dice, comentando a Demócrito: "Demócrito prescinde de la causa final".

Es bien conocida la suerte corrida por el sistema atomista, uno de los más coherentes y abstractos que haya ideado el hombre. Las causas de su fracaso fueron, sin duda, de tipo más político que epistemológico; pero cabe preguntarse si el fracaso hubiera sido inevitable aunque hubiera tenido continuidad histórica. En efecto, el sistema se alejaba completamente de la observación y la experiencia, pues una de las características de los átomos era, precisamente, el no caer bajo la acción de los sentidos.

## II ETAPA, Aristóteles

Por el contrario, la teoría del movimiento de Aristóteles es teleológica, finalista y su interés es puramente dinámico. En Aristóteles la palabra *Kinēsis* tiene una significación muy amplia. Interesa aquí el "movimiento local", o sea la traslación. Este es el único movimiento que poseen los astros, traslación circular y uniforme. En el mundo sublunar, se tienen dos tipos de movimiento: *natural*, movimiento vertical (en cuanto a que cada elemento tiende a volver a su "lugar natural") y los otros que se denominan *violentos*, en cuanto se requiere de una "violencia" exterior, producida por un motor, para que suceda.

Como se ve, en este planteamiento dinámico por excelencia todo movimiento tiene un sentido y un fin.

En todo movimiento Aristóteles considera dos circunstancias: La acción del motor y la resistencia del medio. Tomando como base observaciones inmediatas (una piedra cae más rápido que una hoja, una piedra cae más lenta en agua que en aire), dedujo que la velocidad de un cuerpo es proporcional a la fuerza que lo impulsa e inversamente proporcional a la resistencia del medio.  $V = F/R$ .

Todo objeto que se mueve en un medio resistente tiende a llegar al reposo, a menos que una fuerza siga empujándolo. De hecho esto es contrario a las evidencias de los sucesos experimentales. En el vacío la resistencia sería nula y por lo tanto la velocidad infinita. De lo anterior deduce Aristóteles la inexistencia del vacío. El planteamiento anterior lleva a un callejón sin salida: Una teoría dinamista, teleológica, del movimiento, basada en las apariencias inmediatas, lleva a una descripción del mundo que contradice esas mismas apariencias.

Para salir del lance, Galileo deberá poder hacer abstracción de ciertas apariencias, forzando el sentido común. En particular deberá preguntarse lo que sucede si se elimina la resistencia del medio, resistencia siempre presente en nuestro mundo, para llegar al concepto abstracto de movimiento uniforme. Esto llevará a eliminar el prejuicio contra el vacío y a la formulación operativa de las leyes del movimiento. Ahora bien, esto pudo darse sin un cambio en el marco epistemológico. La pregunta a la cual Galileo responderá no será teleológica-ontológica (¿por qué caen las cosas?) sino geométrico-cinética (¿cómo caen las cosas?).

## III ETAPA, el "impetus"

La idea del "impetus" domina esta etapa y se caracteriza porque considera el movimiento no como relaciones de espacio y tiempo, sino como "algo" que es comunicado al cuerpo por el motor. El origen de la idea se encuentra en Juan Filipón (siglo VI d.C) y se difunde en el Occidente Medieval a través de los árabes (Avicenas) hasta adquirir su forma definitiva con Jean Buridan (1300-1358): "Hay pues, que admitir que el motor, al poner en marcha el móvil, le comunica cierto impulso (impetus), cierta fuerza motriz en el mismo sentido en que se movía el motor. Por este impetus, la piedra es movida luego de haber dejado de moverla el que la lanzó pero, a causa de la resistencia del aire y del peso de la piedra que la atrae en sentido contrario, el impetus va disminuyendo sin cesar."

Los escolásticos de París y Oxford (Oresne, Swineshead, Heytesbury) habían distinguido el movimiento (motus) de su velocidad (latitudo motus) y de su aceleración (acquisitio latitudinis motus) e intentado su cuantificación. Lo hicieron tomando en consideración grados de intensidad del movimiento y no magnitudes susceptibles a ser reducidas al espacio y al tiempo. Así, al calcular con números en vez de medidas, llegaron a una aritmetización del movimiento, en una matemática de proporciones.

De interés resulta el caso de Leonardo quien aún teniendo una intuición del principio de inercia y de la ley de acción y reacción (es decir de la dinámica) y adelantándose en las consideraciones geométricas del movimiento curvilíneo (lo que será en Galileo independencia de los movimientos) no llegó a integrar ambas, cinemática y dinámica, en forma coherente. La causa probable de su fracaso está en que Leonardo consideraba el movimiento como algo en sí y no como relaciones de espacio y tiempo. La concepción de Leonardo es, esencialmente, la de Buridan.

Puede entonces afirmarse que si bien esta tercera etapa representa un avance respecto a la anterior, también puede considerarse en cierto sentido un retroceso.

## IV ETAPA: Galileo

En la IV etapa, Galileo logrará, desligándose de la posición teleológica Aristotélica, llegar a una dinámica adecuada (principio de inercia) a través de una geometro-cinematización exacta

- (independencia de los movimientos, leyes de caída libre).

En el siguiente párrafo, Galileo hace decir a los escolásticos, por boca de Simplicio: "La causa del movimiento descendente de todas las partes de la tierra, como se sabe bien, es la gravedad", a lo que Salviati contesta: "Te equivocas, Simplicio. Lo que deberías decir es: nadie ignora que esa causa recibe el nombre de gravedad. Pero no te estoy preguntando el nombre sino la esencia de esa cosa. Excepto el nombre impuesto a la cosa y que se ha hecho familiar por el uso, no comprendemos nada de la cosa, ni de la virtud que hace bajar una piedra ni la que empuja una piedra proyectada hacia arriba, ni la que mueve a la Luna en su órbita".<sup>5</sup>

En este modo, dejando de lado la pregunta de corte metafísico, ontológico, "¿Por qué caen los cuerpos?", Galileo se centra en "¿Cómo caen las cosas?" Las experiencias "repetidas cien veces", como dice él mismo, podrán haberle dado la idea, pero se debe más a lo que supo ignorar (no tomar en cuenta el efecto del razonamiento) que a lo que supo observar, que logró una formulación geométrico-cinética satisfactoria del movimiento.

En resumen, la primera etapa de interés cinemático no tiene continuidad histórica; la segunda, dinamista, llega —a partir de las apariencias— a contradecir esas mismas apariencias.

La falta de comprensión de las circunstancias normativas parece ser la responsable del fracaso de la tercera etapa. En la cuarta, un cambio de marco epistémico permite una cinematización adecuada que lleva a una dinamización satisfactoria, dinamización iniciada por Galileo y completada por Newton.

## PARTE B

### Estudio Psicogenético

Como se anotó en la introducción, el movimiento resulta, desde el punto de vista psicológico, un lugar privilegiado donde las experiencias externas (acción del sujeto) son interpretadas con base en estructuras internas, y se elaboran así formas de organización susceptibles de transportarse a otros campos. Algunos estudios (Conolly 1970, Mounoud y Hauert, 1982) ponen en evidencia los tipos de organización sensorio-motriz. Interesan aquí los de la Escuela de Ginebra (Piaget 1946, Piaget 1972, equipo del CIEG. Centro Internacional d'Epistemologie Genetique 1981-83) que centran

su atención en la toma de conciencia por parte del sujeto, de la parte geométrica y dinámica que todo movimiento presenta.

De los últimos trabajos publicados parece poder concluirse que si bien es cierto que la aplicación de la fuerza determina el tipo de movimiento, desde el punto de vista de la toma de conciencia, es a través de la correcta geometrización de los movimientos que el sujeto logra un efectivo control de los aspectos dinámicos.<sup>6</sup>

La autora de este artículo ha trabajado desde 1981 en el estudio psicogenético de algunas nociones de cinemática y dinámica. Este estudio se realiza en el proyecto "Análisis de la capacidad inductiva en estudiantes del área metropolitana", y "Relación entre algunos modelos de explicación en la Historia de la física y la utilización de estos modelos por parte de sujetos no especializados", ambos proyectos adscritos al I.I.M.E.C.

El trabajo sobre psicogénesis se hizo utilizando dos metodologías diferentes:

- a. Preguntas escritas, abiertas, cuyo análisis cualitativo permitiera clasificarlas según niveles evolutivos de comprensión.
- b. Pruebas de inducción de tipo piagetiano aplicadas con método interrogativo clínico.

### Pruebas de tipo a.

#### Muestra y niveles considerados

En esta parte se tomó una muestra de 100 estudiantes por nivel de edad, de 10 a 17 años y de nivel socio-económico medio. Los dos instrumentos aplicados contenían ocho ítems referentes a cinemática y dinámica. El análisis cualitativo de las respuestas permitió, a pesar de la gran diversidad, una clasificación por niveles evolutivos que van desde un primer nivel inicial, egocéntrico y predominante en edades bajas, a un cuarto nivel de comprensión formal.

Como 2º nivel se consideró aquel en que el estudiante da causas objetivas al fenómeno pero estas resultan absurdas o irrelevantes. En el 3º nivel las circunstancias normativas son aceptadas, pero la estructura lógico matemática con la que se ligan no es la adecuada. A este nivel sucede un 4º, en el cual se da una comprensión formal. Dada la naturaleza escrita del instrumento, fue necesario —según los casos— considerar subniveles que dieran cuenta del uso del vocabulario.

Ejemplos:

—Algunas preguntas centraban la atención en la parte puramente cinética. Por ejemplo, en la pregunta siguiente se analizó conservación de ángulos en rebotes, disminución paulatina de éstos, forma parabólica.

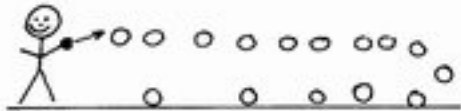
1— Juan lanza una bola. Dibuja cómo cae la bola y rebota varias veces.



En el primer nivel egocéntrico predominante en edades bajas, la forma de la trayectoria resulta indeterminada y aunque el porcentaje tiende a disminuir, nunca llega a cero y un 17% todavía presenta este tipo de forma a los 17 años. Veamos la respuesta de los niños:

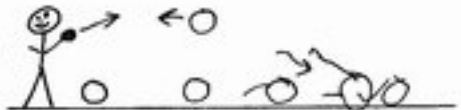
Juan lanza una bola. Dibuja cómo cae la bola y rebota varias veces.

(Inés, 12 años)



Juan lanza una bola. Dibuja cómo cae la bola y rebota varias veces.

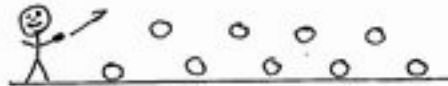
(Diego, 9 años)



En el segundo nivel consideramos que existe la conservación de ángulo y forma aproximada, pero la amplitud del rebote no disminuye en forma paulatina.

Juan lanza una bola. Dibuja cómo cae la bola y rebota varias veces.

(Ana, 13 años)



Juan lanza una bola. Dibuja cómo cae la bola y rebota varias veces.

(Aliene, 9 años)



En el tercer nivel, la circunstancia normativa rozamiento está presente y las respuestas son de este tipo:

1— Juan lanza una bola. Dibuja cómo cae la bola y rebota varias veces.

(Juan, 14 años)



Finalmente, un cuarto nivel donde la forma parabólica queda bien definida y existe una correcta geometrización de la trayectoria:

1— Juan lanza una bola. Dibuja cómo cae la bola y rebota varias veces.

(Diego, 14 años)



Este último nivel va desde el 10% a los 10 años, a un 57% a los 17 años.

El tema de movimiento parabólico, composición de movimientos, no se estudia en los colegios hasta el 11° año (a los 17 años). Sin embargo, el estudio hecho trata de probar la hipótesis de que ese tema debería estudiarse mucho antes de esa edad, pues el "momento ideal" para su aprendizaje, es decir, cuando con el mínimo esfuerzo por parte del docente y del alumno, se logra la adquisición de un concepto, se produce alrededor de los 13 años (6° año). En esta edad, dado que los niveles acumulados -2°, 3° y 4°- constituyen un 72% sería conveniente introducir el tema.

Algunas preguntas planteadas a los alumnos eran de interés puramente dinámico; por ejemplo, bolitas que descendían por una montaña rusa desde diferentes alturas. Otras, finalmente, tocaban ambos aspectos, la parte cinética (movimientos relativos) y la dinámica (inercia). Por ejemplo: Vas sentado en un autobús y éste frena bruscamente. ¿Qué sucede?, ¿por qué? En el caso de esta pregunta se consideraron niveles de respuesta que reflejaban: 1.- Enfoque egocéntrico, del tipo: "Me caigo", "Me golpeo"; 2.- Correcta descripción del movimiento relativo: "Me voy hacia adelante", acompañada por causas físicas absurdas o irrelevantes; y niveles 3 y 4 donde existía una comprensión aceptable dinámica, pero que se diferenciaban por un uso correcto o incorrecto del lenguaje.

Aunque se dieron algunas respuestas que implicaban una intuición precoz del principio de inter-

cia, por ejemplo: "Yo sigo hacia adelante, el autobús se queda atrás porque él frenó." (Georges, 9 años), estas resultaron esporádicas, si se considera que el nivel acumulado 3 - 4 solamente llega a ser 20% a los 17 años, lo que implicaría para nuestra hipótesis inicial que, efectivamente, el aprendizaje de los temas de dinámica es más lento.

En general los ocho ítems estudiados permiten constatar que la comprensión geométrico-cinética precede a la dinámica.

#### Pruebas de tipo b.

Con el objeto de afinar el análisis cualitativo en varios temas, se aplicaron pruebas de tipo inductivo con método de interrogatorio clínico, utilizando muestras de diez sujetos por nivel de edad de 10 a 16 años y de nivel socio-económico medio.

Se hará referencia a continuación a una de ellas en particular, la cual presenta dos partes:

1. Una secuencia de pruebas de predicción- experimentación que pone a prueba la comprensión geométrico-cinética de la caída libre con varios objetos (balín de acero, papel liso, papel arrugado), seguida por
2. Una prueba de aparente contradicción. Un doble trompo de hierro que aparentemente "sube" por un plano inclinado (cuña hueca) contradiciendo que "todo lo pesado baja" y cuyo análisis correcto requiere una buena comprensión del mecanismo dinámico de caída libre.

Se encontró en la parte 1, que una adecuada comprensión cinemática la presentan:

Años de edad	10	11	12	13	14	15	16
Presentan comprensión adecuada, número de la muestra	2/10	2/10	3/10	4/10	5/10	6/10	8/10

En cuanto a una adecuada comprensión dinámica se presenta así:

Años de edad	10	11	12	13	14	15	16
Presentan comprensión adecuada, número de la muestra	-	-	-	-	2/10	3/10	6/10

De ambas tablas puede seguirse que la comprensión dinámica es, ciertamente, posterior a la cinética. Como dato importante cabe agregar que todos los niños que presentaron una buena comprensión dinámica habían alcanzado la comprensión cinética del fenómeno.

#### CONCLUSION

No se pretende con este trabajo haber resuelto en forma definitiva la pregunta que se planteó inicialmente, a saber:

¿La comprensión de los aspectos dinámicos y cinemáticos geométricos resulta independiente, o bien se suceden en una forma determinada?

El camino que sigue es aún muy largo pero puede concluirse que así como en la historia de la ciencia los esquemas de sucesión que resultaron satisfactorios partieron de una concepción cinética para llegar a la dinámica, también en la psicogénesis el proceso de comprensión dinámico sucede al de comprensión cinética.

#### NOTAS

- 1 G. Vicarioli, Z. Méndez, J.L. Govaere. "Crónicas universitarias", 1982, en prensa.
- 2 La epistemología genética contempla tres métodos complementarios.
  - a. Análisis formalizante, problema de la estructura formal del conocimiento.
  - b. Análisis psicogenético, referido a la caracterización de los estados de conocimiento en niveles sucesivos y los mecanismos de pasaje de una a otro.
  - c. Método histórico-crítico, reconstrucción de la historia de la ciencia en tanto que análisis de los procesos conducentes de un nivel de conocimiento a otro.
3. Este tipo de investigación sistemática utilizando ambas metodologías ha ocupado los esfuerzos del C.I.E.G. en los últimos tres años.
4. A la obra de los pioneros de la historia de la mecánica E. Mach, P. Duhem, A. Koyné, A. Maier, ha sucedido la labor paciente y sistemática realizada en va-

- rios centros de investigación sobre la ciencia medieval y el nacimiento de la ciencia moderna. El trabajo realizado en este sentido es enorme. Además, gracias a los esfuerzos de E. Moody y M. Glagett, se está realizando un gran esfuerzo editorial tendiente a hacer accesibles las fuentes principales.
5. La situación no ha variado en nuestros días, cualquier intento de contestar a "¿Por qué caen las cosas?", generará un círculo lógico tarde o temprano. En efecto la ciencia actual no responde a los "¿por qué?" de tipo ontológico sino a los "¿cómo?", "¿cuándo?", "¿en qué forma?".
- 6 S. Dionnet, Construction de l'objet et geometrization du mouvement, *Cahiers de la fondation archives Jean Piaget* 4, Genève, avril 1983.  
A. Boder, Changement de representation dans une transmission de mouvement, *Cahier de la fondation archives Jean Piaget* 4, Genève, avril 1983.

#### BIBLIOGRAFIA

- B. Farrington, *Ciencia y política en el Mundo Antiguo*. Ed. Ayuso, 3 ed. Madrid, 1973.
- R. García, G. Heurignes, I. Stengers y otros. *Histoire des sciences et Psychogenese*. Cahiers de la fondation des archives Jean Piaget 4. Genève, avril 1983.
- R. García, J. Piaget. *Historia de la ciencia y Psicogénesis*.
- S. Papert. *Mindstorms children, computers and powerful ideas*. Basic Book Inc. New York, 1980.
- J. Piaget. *La trasmision des mouvements*. E.E.G. XXVII, Paris P.U.F. 1972.
- J. Piaget. *Les notions de mouvement et de vitesse chez l'enfant*. Paris P.U.F. 1946.
- G. Sarton, *Historia de la ciencia*. Vol. I,II,III. E.U-DEBA. Buenos Aires, 2 ed., 1946.
- R. Taton. *Historia General de las ciencias, bajo la dirección de René Taton*. Vol. I y II. Ediciones Destino, Barcelona, 1971.