

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL APRENDIZAJE EN FISICA EN EL DESARROLLO DEL PENSAMIENTO FORMAL MEDIANTE UN «PATH-ANALYSIS»*

LOPEZ RUPEREZ, F., PALACIOS GÓMEZ, C. y GARROTE FLORES, R.
I.B. Experimental Piloto Cardenal Herrera Oria.
I.C.E. Universidad Autónoma de Madrid.

(*) Este trabajo forma parte del proyecto «Análisis de relaciones entre factores psicológicos, factores socioeconómicos y rendimiento escolar sobre una muestra de alumnos de Bachillerato» financiado con cargo al XIII Plan Nacional de Investigación Educativa.

SUMMARY

This work investigates, by a path-analysis, the strength of the direct causal linkage between the achievement in a High School Physics course and the terminal cognitive developmental level. The general fluid intelligence has been also considered in our study. The little and non-significant value obtained for path coefficient between the two first variables has been interpreted in the context of Piaget's theory.

INTRODUCCION

El análisis de la influencia de variables psicológicas en el aprendizaje de las Ciencias y, particularmente, del nivel de desarrollo cognitivo ha sido objeto de especial atención dentro de la investigación educativa. En esta última década investigadores de distintos países apoyados en los resultados de entrevistas clínicas piagetianas o de test de lápiz y papel previamente validados han estudiado la relación entre rendimiento en Ciencias y pensamiento formal (Chiappetta, 1976; Boulanger y Kremer, 1981; Sayre y Ball, 1975; Lawson, 1982; Shayer, 1972, 1978). El estadio evolutivo del adolescente, definido dentro del modelo piagetiano, se ha revelado como un importante condicionante del rendimiento en diferentes cursos de ciencias y el problema de la inadecuación de los currícula ha alcanzado programas tan prestigiosos como el Nuffield, el PSSC o el Chem Study (Shayer y Adey, 1984).

Inversamente la posibilidad de una mejora efectiva en las destrezas características del razonamiento formal como consecuencia de una instrucción científica ha sido planteada (Renner y Lawson, 1973; Arons, 1976). El desarrollo e implantación de estrategias didácticas que puedan acelerar la evolución cognitiva en el adolescente constituye, por tanto, un tema de especial interés en el ámbito definido por las grandes metas de la Educación Científica más allá de sus objetivos específicos.

En el presente estudio se muestran y discuten los resultados de un «path-analysis» mediante el cual se ha

investigado la posible conexión causal entre el rendimiento en Física a lo largo de un curso académico de 2º de BUP considerado, por definición, como una medida de la eficacia del aprendizaje en Física, y el nivel de desarrollo cognitivo al final de dicho curso. La variable inteligencia general ha sido, asimismo, contemplada en nuestros análisis.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El hecho de que las variables independientes no hayan sido controladas o manipuladas por el investigador sino que éste se limite a analizar la conducta de los sujetos registrada en ciertas situaciones naturales, constituye el aspecto metodológico que diferencia los diseños correlacionales respecto de los experimentales. La presente investigación se ha desarrollado sobre la base de un diseño correlacional conocido en términos genéricos como «*path-analysis*» (Duncan, 1966; Nie y otros, 1975). Dicho procedimiento correlacional permite descomponer e interpretar relaciones entre un conjunto de variables de intervalo para las que se admite un sistema establecido, o cuando menos plausible, de relaciones causales.

a) Composición de la muestra

La muestra sobre la que se apoya el presente estudio está definida por todos los alumnos del nivel 2º de BUP del curso 1982-83 del I.B. Experimental-Piloto Cardenal Herrera Oria, cuyo tamaño real a los efectos de los

cálculos correlacionales ha sido de 161 alumnos repartidos, aproximadamente al 50%, entre ambos sexos.

b) Definición de las variables y de sus relaciones

La definición de variables, cuyas relaciones mutuas han sido investigadas, junto con los instrumentos utilizados para su medida son presentados esquemáticamente en la Tabla 1. Una información más detallada sobre las características de los instrumentos empleados ha sido descrita con anterioridad y puede encontrarse en la literatura (Aguirre de Cárcer, 1983; Raven, 1962; Longeot, 1962, 1965; Ward y otros, 1981; Ahlawat y Ybilleh, 1982; López Rupérez y otros, 1984; López Rupérez y otros, 1985).

En lo que respecta a las relaciones causales entre los diferentes pares de variables, la conexión *variable independiente* → *variable dependiente* para los pares TL1 → TL2, TRAV → ROBJ y TL1 → ROBJ puede ser admitida sin reparos; así, el estado evolutivo final estará condicionado por el inicial; por otra parte es un hecho suficientemente establecido que variables psicológicas tales como inteligencia general y nivel de desarrollo cognitivo influyen significativamente y de un modo directo en el rendimiento. Sin embargo, el establecimiento de un orden causal para las variables TRAV — TL1 y TRAV — TL2 resulta problemático. Apelando al carácter más o menos general del atributo intelectual correspondiente podrían aceptarse las siguientes relaciones TRAV → TL1 y TRAV → TL2; no obstante, es posible que la correlación observada entre tales variables sea espuria (no causal) asociada al hecho de que ambas estuvieran relacionadas con un atributo más general (López Rupérez y otros, 1985). Por ello se han realizado sendos «*path-analysis*» para cada uno de tales supuestos. Por otra parte, la conexión causal directa ROBJ → TL2, cuya intensidad nos proponemos investigar, ha sido postulada.

Junto al establecimiento de un orden causal definido, en aquellos problemas de «*path-analysis*» en los cua-

les las variables medidas no son suficientes como para completar la determinación de las variables dependientes, se introducen otras variables residuales o *variables latentes* que, junto con las explícitamente investigadas, definen el cierre causal del sistema de variables. Una variable latente representa, por tanto, todas las causas residuales que influyen sobre la variable dependiente considerada. Aunque no probada experimentalmente, admitiremos como hipótesis simplificatoria para la realización de los cálculos que la posible covariación entre las variables latentes es despreciable.

c) Técnicas de análisis

Para la realización de los diferentes análisis correlacionales hemos empleado el programa REGRESSION, con las opciones y estadísticos apropiados, correspondientes al paquete de programas SPSS. Dicho programa ha sido ejecutado desde un ordenador Digital VAX/11/80 del Centro de Cálculo de la Universidad Autónoma de Madrid.

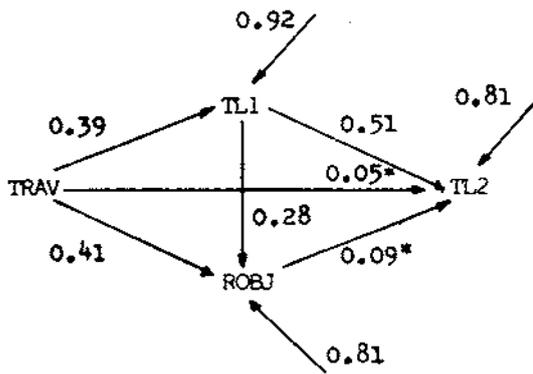
RESULTADOS Y DISCUSION

Los esquemas 1 y 2 representan sendos diagramas de conexiones causales entre las diferentes variables investigadas y corresponden a los dos supuestos alternativos que otorgan a las conexiones entre las variables TRAV y TL1/2 un carácter causal y no causal respectivamente. En ellos se señala, asimismo, la influencia de las variables latentes asociadas a causas residuales.

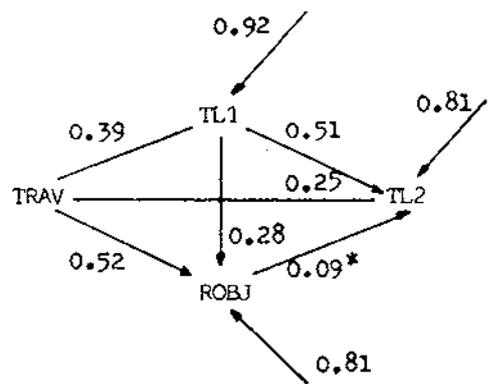
La Tabla 2 resume los resultados obtenidos a partir de los diferentes análisis correlacionales. Las cifras situadas en las filas superiores corresponden a un «*path-analysis*» que admite la conexión causal TRAV → TL1/2 (esquema 1), en tanto que las situadas en las filas inferiores y entre paréntesis corresponden al modelo que otorga un carácter espurio a tales relaciones (esquema 2). De la información contenida en la Tabla 2 interesa resaltar los siguientes aspectos:

Tabla 1

VARIABLE	INSTRUMENTO DE MEDIDA	REFERENCIA
Inteligencia general (TRAV)	Test de Raven de las Matrices Progresivas	J.C. Raven 1962
Nivel de desarrollo cognitivo inicial (Oct 82) (TL1)	Test de Longeot	I.Aguirre de Cárcer 1983
Nivel de desarrollo cognitivo final (Jun 83) (TL2)	Test de Longeot	I.Aguirre de Cárcer 1983
Rendimiento objetivo en Física (ROBJ)	Test de rendimiento (PEICE)	F.López Rupérez y otros 1984, 1985



Esquema I



Esquema II

Tabla II

RELACION BIVARIADA	COVARIANZA TOTAL r (A)	CAUSAL			NO CAUSAL (E = A-D)
		DIRECTA (B)	INDIRECTA (C)	TOTAL (D = B + C)	
TRAV → TL1	0.39 (0.39)	0.39 (0)	0 (0)	0.39 (0)	0 (0.39)
TRAV → ROBJ	0.52 (0.52)	0.41 (0.52)	0.11 (0)	0.52 (0.52)	0 (0)
TRAV → TL2	0.29 (0.29)	0.05* (0)	0.24 (0.04)	0.29 (0.04)	0 (0.25)
TL1 → ROBJ	0.44 (0.44)	0.28 (0.28)	0 (0)	0.28 (0.28)	0.16 (0.16)
TL1 → TL2	0.57 (0.57)	0.51 (0.51)	0.03* (0.03)*	0.54 (0.54)	0.03* (0.03)*
ROBJ → TL2	0.34 (0.34)	0.09* (0.09)*	0 (0)	0.09 (0.09)	0.25 (0.25)

* $p > 0.01$ (no significativo)

a) Aceptando el esquema 1 prácticamente toda la covariación existente entre TL2 y TRAV es indirecta a través de TL1, lo que viene a significar que la evolución cognitiva producida en el intervalo de tiempo considerado (8 meses aproximadamente) aún siendo significativa desde el punto de vista de la variable TL no añade nuevos elementos a su relación con la inteligencia general. Según el esquema 2 la correlación observada es científicamente irrelevante.

b) La covariación directa entre TRAV y ROBJ es cuantitativamente importante frente a la covariación total. Lo mismo sucede con las variables TL1 y ROBJ. Cada uno de estos resultados por separado evidencia la importancia de las variables psicológicas investigadas en el rendimiento en Física; considerados conjuntamente indican que aunque las variables inteligencia general y nivel de desarrollo cognitivo estén parcialmente relacionadas hacen referencia a atributos intelectuales diferentes, cuando menos en lo que respecta a su influencia sobre el rendimiento en Física (Nota 1).

c) La correlación observada entre las variables TL1 y TL2 resulta moderada, pero sensiblemente inferior al valor de 0.80 obtenido por Blake (Blake, 1980) para el coeficiente de fiabilidad (test-retest) del test de Longeot en la versión inglesa sobre una muestra de alumnos australianos de los grados 10-12. Nuestros resultados son consistentes con una inestabilidad de la muestra respecto del atributo, o conjunto de atributos, intelectuales correspondientes a la variable TL; dicha inestabilidad está probablemente asociada a un progreso efectivo en el nivel de desarrollo cognitivo observado para la muestra considerada. Un estudio longitudinal detallado de la evolución cognitiva a lo largo de todo el Bachillerato será publicado más adelante.

d) Considerado ROBJ como una definición operacional del rendimiento en Física y, consiguientemente, con la eficiencia del aprendizaje correspondiente, el valor pequeño y poco significativo de la covariación directa entre dicha variable y TL2 indica que el nivel de desarrollo cognitivo final no puede ser explicado como de-

bido a la instrucción recibida en Física. Este resultado negativo viene a decirnos que, si bien los alumnos han progresado a lo largo del curso hacia el estadio de las operaciones formales, tal maduración cognitiva no es atribuible especialmente al aprendizaje en Física aun cuando éste se haya efectuado siguiendo una metodología activa e individualizada (López Rupérez y otros, 1984). Cabe entonces preguntarse cuál es la causa de dicho progreso. Diferentes estudios experimentales sobre la mejora en el manejo de las operaciones formales han puesto de manifiesto que la edad constituye, a este respecto, un factor decisivo (Lawson y otros, 1978; Karplus y otros, 1980; Shayer y Wylam, 1976, 1978). La drástica dependencia del nivel de desarrollo cognitivo respecto a la edad ha llevado a algunos investigadores a sugerir que la adquisición de las destrezas características del razonamiento formal no puede ser atribuida, específicamente, al aprendizaje de los alumnos en los cursos de Matemáticas o de Ciencias.

Es de especial interés, el reciente trabajo de A.E. Lawson y J.B. Bealer, (1984); en él se contrastan los progresos realizados por una muestra de alumnos respecto de diferentes ítems piagetianos, a lo largo de cuatro grados distintos, con los contenidos de sus cursos de Ciencias; los resultados obtenidos son, en términos generales, negativos en el sentido de que no permiten sostener la hipótesis de que el progreso sea debido al aprendizaje en Ciencias. Tales autores concluyen que dicho aprendizaje es necesario para la evolución pero no suficiente y recurren para avalar su afirmación a la noción piagetiana de equilibración como proceso cognitivo interno en el que estructuras mentales y experiencias externas interactúan hasta conseguir en el sujeto la modificación de las primeras y la explicación coherente de las segundas. El papel de la instrucción sería, entonces, el de producir una adquisición gradual de conceptos, una inicialización del proceso de equilibración cuya consolidación se realizaría más adelante al contrastarlos suficientemente y en contextos diferentes. Dicha explicación es, asimismo, oportuna para

nuestros resultados experimentales. Es muy probable que los efectos específicos de la enseñanza de la Física sobre el desarrollo cognitivo estén moderadamente retardados, de modo que el tiempo de observación empleado en esta investigación esté por debajo del «*tiempo de espera*» propio, lo que podría justificar la ausencia de efectos apreciables detectada en el presente trabajo.

Volviendo de nuevo a la pregunta anteriormente planteada sobre la causa del progreso observado en la capacidad de razonamiento señalaremos, citando a Inhelder y Piaget (1985), tres factores principales que influyen en dicho progreso: maduración del sistema nervioso, experiencia adquirida en la interacción con el entorno físico e influencia del medio social. La sociedad occidental influye en el desarrollo cognitivo del adolescente, a través de sus sistemas educativos, de los medios de comunicación y, en general, de su estilo de vida, de una forma más o menos homogénea para cada capa socioeconómica; la edad y las diferencias individuales hacen el resto.

Ante tal conglomerado de influencias, no cabe duda de que la instrucción correspondiente a una asignatura dada es tan sólo un elemento más, potencialmente importante como en el caso particular de la Física, pero puntual en fin de cuentas respecto del conjunto. No obstante lo anterior, el reto de diseñar estrategias instructivas eficaces en orden a acelerar, en una medida desde luego limitada, el proceso de equilibración antes citado sigue en pie. Aun cuando los estudios experimentales disponibles a este respecto no son unánimes en sus resultados (Blake y Nordland, 1978; Renner y otros, 1976), los métodos basados en estrategias de indagación y experimentación parecen tener cierta ventaja frente a los básicamente expositivos o didácticos.

Nota

Para una discusión más detallada de este punto ver F. López Rupérez y otros, 1985.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AGUIRRE DE CARCER, I., 1983, Traducción al español del test de Longeot. Documento fotocopiado.
- AHLAWAT, K.S. y YBILLEH, V., 1982, The factor structure of the Longeot Test: A measure of Logical Thinking *Jour. Res. Sci. Teach.* 19,8 647-658.
- ARONS, A.B., 1976, Cultivating the capacity for formal reasoning; objectives and procedures in a introductory physical science course. *American Journal of Physics*, 44 (9) 834-838.
- BLAKE, A.J.D. y NORDLAND, F.H., 1978, Science Instruction and cognitive growth in college students. *Jour. Res. Sci. Teach.* 15 (5) 413-419.
- BLAKE, A.J.D., 1980, The predictive power of two written test of Piagetian developmental level. *J. of Res. Sci. Teach.* 17 (5) 435-441.
- BOULANGER, F.D. y KREMER, B.K., 1981, Age and Development level as antecedents of Science Learning - *Jour. Res. Sci. Teach.* 18 (4), 371-384.

- CHIAPPETTA, E.L., 1976, A Review of Piagetian Studies Relevant to Science Instruction at the Secondary and College Level. *Science Education*, 60 (2), 253-261.
- DUNCAN, O.D., 1966, Path-Analysis: Sociological Examples. *The American Jour. of Sociology*, 72 (1), 1-16.
- INHELDER, B. y PIAGET, J., 1958, The growth of logical thinking: From childhood to adolescence. *Basic Books Inc.* New York, 243.
- KARPLUS, R., ADIH y LAWSON, A.E., 1980, Intellectual development beyond elementary school VIII: Proportional probabilistic and correlational reasoning. *School Science and Mathematics*, 80 (8), 673-683.
- LAWSON, A.E., KARPLUS, R. y ADIH, 1978, The acquisition of propositional logic and formal operational schema during the secondary school years. *Jour. Res. Sci. Teach.* 15 (6) 465-478.
- LAWSON, A.E., 1982, The Nature of Advanced Reasoning and Science Instruction. *Jour. Res. Sci. Teach.* 19 (9), 743-760.
- LAWSON, A.E. y BEALER, J.M., 1984, The acquisition of basic quantitative reasoning skills during adolescence: learning or development? *Jour. Res. Sci. Teach.*, 21 (4), 417-423.
- LONGEOT, F., 1962, Un essai d'application de la psychologie genétique a la psychologie différentielle. *Bulletin de l'Institut National d'Etude*, 18, 153-162 - 1965. Analyse statistique de trois tests génétiques collectifs. *Ibid* 20, 219-237.
- LOPEZ RUPEREZ, F., BRINCONES CALVO, I., GARROTE FLORES, R., PALACIOS GOMES, C., SANTINI, C., 1984, Proyecto de Enseñanza Individualizada de Ciencias Experimentales. Análisis de una experiencia. *Enseñanza de las Ciencias*, 1,2 3-14.
- LOPEZ RUPEREZ, F., BRINCONES CALVO, I., GARROTE FLORES, R. y PALACIOS GOMES, C., 1985, *Tests de rendimiento en Física Básica* (Pendiente de publicación).
- LOPEZ RUPEREZ, F., PALACIOS GOMEZ, C., BRINCONES CALVO, I. y SANCHEZ GONZALEZ, J., 1985, Pensamiento formal y rendimiento en Física. Análisis de la validez del test de Longeot por referencia a tests de rendimiento. (Pendiente de publicación).
- NIE, N.H., HULL, C., JENKINS, J.G. STEINBRENNER, K. y BENT, D.H., 1975, SPSS. pág. 384-397 (Ed. Mc Graw Hill, New York).
- RAVEN, J.C., 1962, P.M.S. *Matrices Progresivas. Nivel Superior series I y II*. Rev. 1962 (MEPSA - Madrid).
- RENNER, J.W. y LAWSON, A.E., 1973, Promoting intellectual development through Science Teaching. *The Physics Teacher*, 11 (5) 273-276.
- RENNER, J.W., STAFFORD, D.G., LAWSON, A.E., MC KINNON, J.W., FRIOT, F.E. y KEILOG, D.H., 1976, *Research teaching and learning with Piaget model* Norman Okla. University of Oklahoma Press.
- SAYRE, S. y BALL, D.W., 1975, Piagetian Cognitive Development and Achievement in Science. *Jour. Res. Sci. Teach.* 12(2), 165-174.
- SHAYER, M., 1972, Conceptual demands in Nuffield O-Level Physics. *School Sci. Rev.* 186, 26-34; 1978. The analysis of science curricula for Piagetian level of demand. *Studies in Science Education* 5, 115-130; 1978. Nuffield Combined Science: do the pupils understand it? *School Sci. Rev.* 60, 213-223.
- SHAYER, M. y ADEY, P., 1984, *La ciencia de Enseñar Ciencias. Desarrollo cognoscitivo y exigencias del currículo*. (Narcea - Madrid).
- SHAYER, M. y WYLAM, H., 1976, The distribution of Piagetian stages of thinking in British middle and secondary school children I y II, *Br. J. Educ. Psychol.* 46, 164-173; 1978. *Ibid* 48, 62-70.
- WARD, C.R. NURRENBER, S.C., LUCAS, C. y DUDLEY, J., 1981, Evaluation of the Longeot test of cognitive development. *Jour. Res. Sci. Teach.* 18 (2), 123-130.