

# LA INVESTIGACION DE OPERACIONES COMO ALTERNATIVA A LA INVESTIGACION PEDAGOGICA ESTRICTAMENTE EXPERIMENTAL

por E. REPETTO TALAVERA  
*Universidad Complutense de Madrid*

## *1. La investigación operativa, una de las estrategias de la investigación pedagógica en la actualidad*

El concepto tradicional de la Pedagogía Experimental se basa en la creencia de que los problemas pedagógicos podían y debían ser resueltos siempre mediante la evidencia objetiva de los experimentos. Es decir, que la investigación experimental en sentido estricto era capaz de formular una estructura de teorías y conocimientos pedagógicos que generaran nuevas hipótesis y nuevos experimentos, hasta cubrir en su totalidad su campo de estudio.

Esta puede afirmarse que era la aspiración común, si no la única, durante las décadas de los años 30 hasta cerca de los 60, y la que atrae poderosamente la atención de los nuevos pedagogos experimentalistas. La sombra de Galton y de Fisher son predominantes en estos decenios. La formulación de teorías pedagógicas, objetivo primordial de la Pedagogía Experimental, y el establecimiento objetivo de los conocimientos, sólo se consideraba posible si se utilizaban diseños experimentales, con controles efectivos, medidas evaluativas precisas y análisis estadísticos clásicos. Es preciso observar que la influencia de Wright, contemporáneo de Fisher, con sus estudios correlacionales aplicados a la genética, apenas si son conocidos en la Pedagogía Experimental.

Ahora bien, muchos de los investigadores de la Pedagogía Experimental —y de las otras Ciencias Experimentales de la Educación—, de hoy nos vemos privados de la fe en el poder de los experimentos aplicados a las cuestiones educativas. Quizá hemos perdido la estrella que guiaba a los pioneros y la fuerza de la aceptación de la metodología estrictamente experimental como la única vía posible para acceder al conocimiento de la dimensión experimental del hecho educativo. Ya Ashby en 1958 indica que la mayor parte de los estudios experimentales “puros” eran “análisis minúsculos” sin una base teórica firme y sin grandes contribuciones al objeto de estudio [1]. considero, sin embargo, que a esta

crítica de Ashby puede responderse diciendo que todas las ciencias se desarrollan mediante “análisis minúsculos” y que la elaboración de teorías coherentes suele ser un proceso muy lento, proceso que la Pedagogía Experimental ha iniciado en este siglo. Debido a ello, y por la particular idiosincrasia de las cuestiones pedagógicas, los problemas que en la actualidad pueden ser resueltos experimentalmente son relativamente menores comparados con los “grandes temas” que requieren estudios con diseños quasi-experimentales. Sobre lo que denomino los “grandes temas” pedagógicos, opino que es la Pedagogía Experimental la que debe ofrecer, mediante el desarrollo de las investigaciones no estrictamente experimentales, una amplia contribución a las demás Ciencias de la Educación y a ella misma, definiendo sus objetivos, realizando evaluaciones precisas, aplicando técnicas y tratamiento estadístico de los datos renovados y recogiendo la evidencia relevante y adecuada para formular nuevas teorías pedagógicas que se hagan cargo de la complejidad de sus cuestiones.

De este modo, y desde mi personal punto de vista, hoy pueden apreciarse diversas estrategias en la investigación pedagógica científico-empírica. De estas estrategias —y con la mira puesta en situar entre ellas a la investigación operativa— presento una síntesis a continuación.

En primer lugar, en el conjunto de estas estrategias de investigación pedagógica no pueden olvidarse los ya citados *experimentos de laboratorio y de campo*, que apoyados en la herencia de Galton y de Fisher, han prestado y siguen prestando grandes contribuciones a la Pedagogía Experimental. Pero es conveniente enfrentarse a ellos con cierto aparato crítico como lo hace David Hamilton en su ensayo *Educational Research and the Shadows of Francis Galton and Ronald Fisher* [2] en cuyo comentario ahora no me puedo detener.

En segundo lugar, uno de los logros más importantes de la investigación pedagógica de los pasados treinta años ha sido el reconocimiento de que las cuestiones pedagógicas no contaban con el conocimiento amplio de la realidad en la que debían apoyarse. Una estrategia para encontrar esa base dilatada de la realidad pedagógica ha sido el empleo de las investigaciones tipo *encuestas* (survey). Piénsese, por ejemplo, en las encuestas nacionales acerca de cualquier tema pedagógico, como por ejemplo, los sondeos exploratorios que desde 1948 viene realizando cada cuatro años el Reino Unido acerca de la lectura. Es evidente que estos estudios exploratorios pueden criticarse en tanto que no cuentan con hipótesis previas, ni con una teoría conceptual en la que se apoyen; pero, es indudable que prestan una abundante información sobre la que pueden edificarse investigaciones más estrictas. A este respecto quisiera decir que no comparto por completo la opinión de Holmes de que “A primera vista la investigación puede parecer importante. Pero esta impresión se deriva del uso del término investigación para un trabajo que se le debía denominar mejor como trabajo de desarrollo, de encuesta o de información” [3]. Cualquiera que sea su denominación, estimo que sus aportaciones al campo pedagógico son extraordinariamente valiosas.

La tercera categoría de este espectro de la investigación pedagógica suele calificarse como “*investigaciones en el desarrollo del currículum*”. Quizás pueda afirmar sin temor a equivocarme, que constituye el área más estudiada desde 1960. Este tipo de investigaciones suelen emplear tanto la metodología experimental como la quasi-experimental, ocupando un lugar intermedio entre las investigaciones diseñadas con el respaldo de firmes teorías pedagógicas y los trabajos tipo encuestas. Pero, según indica Nisbet, el único riesgo es que las investigaciones sobre el currículum “tienden a aislarse como si fuera un nuevo tipo de disciplina, con sus propios especialistas, sus propias técnicas, su propia jerga, e incluso sus propias organizaciones, en vez de reconocer que ganarían más si utilizasen, de una parte,

experimentos bien diseñados, y de otra, estudios exploratorios e intervencionistas”, es decir, investigaciones “activas” [4]. Lo cierto es que dado el volumen de sus aportaciones considero conveniente hacer con ellas un bloque aparte, que podían engrosar lo que en nuestra terminología constituye la Didáctica Experimental y que tiene su lugar destacado entre las Ciencias de la Educación.

Es en 1965 cuando Michael Young, en su obra *Innovation and Research in Education* [5] subraya por vez primera la brecha existente entre la investigación y las innovaciones educativas de la realidad cotidiana. En efecto, es preciso reconocer la existencia de dos líneas paralelas en el terreno de las investigaciones pedagógicas: de una parte abundan las innovaciones educativas que no se apoyan en investigaciones concluyentes, sino que se derivan de intuiciones no contrastadas; y de otra, existen investigaciones rigurosas que nunca se plasman en innovaciones educativas. De esta segregación entre la investigación y la realidad educativa surge la *investigación activa*. Pretende aunar la investigación y la innovación mediante “*estudios intervencionistas*” en los que la investigación se dirige a la actividad educativa y los resultados de la acción educativa revierten a la investigación. Considero que hay poco que añadir a la revisión realizada sobre la “investigación activa” por Halsey en el volumen I de *Educational Priority* [6]. El problema quizás reside en mantener viva la investigación a pesar de las restricciones impuestas por los investigadores. Existe una tensión, aún no superada, entre los dos conceptos, acción e investigación: a la acción se le asignan cualidades populares tales como compromiso, entusiasmo, implicación, mientras que la investigación tiene menos atractivo, calificándola de distante y escéptica. Usando las palabras de Elizabeth Richardson, a la “acción” se le debe lealtad y la lealtad es “colusión para mantener la pretensión de infalibilidad”; mientras que la investigación científica exige “la disposición de someter las ideas más sagradas a la prueba de la realidad” [7].

En cuanto a las investigaciones *quasi-experimentales* destacan las del *caso único*, que realizan estudios intensivos del educando, utilizando replicaciones sistemáticas, sobre los que se puede generalizar. También tienen hoy una gran vigencia, dentro de nuestra disciplina, las investigaciones *quasi-experimentales con grupos de control no equivalentes*, las de *series temporales* y las que infieren la *causa de la observación* pasiva de las variables aplicadas a cualquier área pedagógica.

Además, habría que mencionar las llamadas “*investigaciones abiertas*” (open-ended-inquiry), un nuevo estilo de estudios en el que la observación participativa capacita al observador para penetrar dentro de la situación, en vez de estudiarlo desde fuera o con un punto de vista independiente. La base de la teoría se edifica a partir de la observación, en vez de imponerla a priori. Las descripciones usadas por los principales participantes explicando sus experiencias proporcionan un instrumento exploratorio y, así, la teoría se apoya en la vida de las personas que se estudian cada día. No se trata de saber si el método A es mejor que el método B. La evaluación reveladora descubre la naturaleza de lo que ocurre. Las debilidades de este tipo de investigación se aprecian fácilmente porque pueden suponer una excusa para recoger datos de forma indiscriminada, y lo que es peor, para realizar investigaciones sin ideas, es decir, sin interés, anecdóticas. Pero si se utilizan medidas precisas y análisis estadísticos complejos, puede suponer un desafío a los métodos tradicionales.

Por último, y sin ninguna pretensión de exhaustividad, se perfilan las *investigaciones operativas* que presentan una vía eficaz para la toma de decisiones pedagógicas. A este respecto se hace imprescindible aludir a Ellis B. Page, profesor de Duke University Durham en North Caroline, quien en el seminario sobre “la calidad de la educación”,

organizado por la Escuela Asturiana de Estudios Hispánicos, en 1980 presentó una ponencia titulada *"El extraño en el barrio". La nueva disciplina científica en la ciencia de la educación* [8]. En ella plantea "un cambio fundamental en los propósitos y métodos de nuestra disciplina investigadora" debido a ese "extraño en el barrio" que amenaza con introducirse en la investigación pedagógica: se refiere a la investigación de operaciones y a su objetivo fundamental, que es la toma científica de decisiones.

Quisiera decir que, desde mi punto de vista, no se trata de calibrar qué estrategia es la mejor y cuál la peor. Sino de comprender que en la situación actual la Pedagogía Experimental debe proporcionar una variedad de estrategias aplicables a los diversos problemas educativos que se estudien.

Ahora bien, en esta ocasión sólo voy a tratar de delimitar la investigación operacional como una de las alternativas a la investigación pedagógica estrictamente experimental. No pretendo hacer aquí un análisis completo de la investigación de operaciones, de las Teorías de la decisión, ni de las técnicas que emplea. Sería impropio realizar tal tarea en este trabajo. Mi intento se reduce a trazar unas pinceladas sobre lo que ese "extraño en el barrio" supone como vía abierta para el desarrollo de la Pedagogía Experimental y del que, hoy, en 1982, estimo que no se puede prescindir.

Este trabajo pretende, por tanto, sólo esbozar los aspectos fundamentales de la investigación operativa pedagógica. Por ello, el siguiente apartado lo dedico a unas consideraciones breves sobre el origen y el significado de la investigación de operaciones; el tercero al estudio de las etapas de la investigación operativa; el cuarto a la revisión de los problemas prototipos que aborda; paso a examinar, en quinto lugar, el significado que la investigación de operaciones tiene en el estudio global del proceso educativo; por último, sintetizo las principales aportaciones que la investigación de operaciones ha hecho al ámbito de los saberes pedagógicos.

## 2. Concepto y evolución histórica de la investigación de operaciones

El término "operations research" fue empleado por primera vez en 1938 por A. P. Rowe refiriéndose a los trabajos realizados en Baedsey para incorporar el entonces nuevo radar a las tácticas y estrategias de defensa aérea de Gran Bretaña contra la invasión alemana. Puede decirse que el período de gestación de este concepto es de 1935-1938, si bien su origen cabe referirlo, en un sentido amplio a la Primera Revolución Industrial con el advenimiento de las máquinas, la división de las funciones del trabajo y la multiplicidad de instalaciones de producción y formas de administración. Sin embargo, la Investigación de operaciones no se hubiera desarrollado en la industria de no haber sido por los avances logrados en las organizaciones militares. Durante 1939 y 1940 equipos de científicos trabajaron en las operaciones de la defensa militar y fue en 1941 cuando Blackett escribió el primer memorandum sobre *"Scientists at the Operational Level"* que tuvo gran influencia a ambos lados del Atlántico. Así, cuando los Estados Unidos entran en la II Guerra Mundial los ejércitos de mar y de aire toman conciencia del éxito de la investigación de operaciones y en 1942 W. D. Baker solicita el establecimiento de un grupo de investigación operativa para la guerra antisubmarina. Del mismo modo y en el mismo año la Fuerza Aérea Real canadiense adoptó la investigación de operaciones y algo más tarde los militares la utilizan en Francia.

Como un alto ejecutivo estaba siempre al frente de las operaciones que intentaban

estudiar la utilización de agrupaciones de hombres y armamento en el contexto de un conflicto, su trabajo se denominó "operations research", que puede traducirse en nuestra lengua como "investigación operacional" o "investigación operativa" (I.O.). Al terminar la guerra, la I.O. sufre distintos cambios en Gran Bretaña y en Estados Unidos. En Gran Bretaña se reducen los gastos de la defensa militar, lo que permite que los analistas en I.O. se pasen a trabajar a la industria, dado que sobre todo las grandes industrias nacionalizadas por el partido laborista estaban necesitadas de ellos. Por el contrario, en Estados Unidos aumenta la investigación militar y los analistas permanecen en sus puestos militares. Pero la llegada de la Segunda Revolución Industrial y la aparición en el mercado de las computadoras electrónicas, hace que los ejecutivos, carentes de preparación técnica, busquen la ayuda de los analistas para utilizarlas. De este modo, es en la década de los 50 cuando la industria americana absorbe algunos analistas de la I.O. que abandonan el ejército, estando hoy equilibrado el número de analistas industriales y militares.

En 1948 se funda en Gran Bretaña la "Operational Research Society" y en 1952 la "Operations Research Society of America" y después de fundarse otras asociaciones en Francia (1956), Japón (1957) y la India (1957) se crea en 1957 la Federación Internacional de Sociedades de Investigación operativa (International Federation of Operational Research Societies). En nuestro país no será sino hasta 1962 cuando se funda la "Sociedad Española de Investigación operativa", que en 1963 pasa a formar parte de la citada Federación Internacional. Así mismo empiezan a publicarse diversas Revistas especializadas en I.O. tales como la "Operations Research Quartely" en Gran Bretaña desde 1950, "Operations Research" en Estados Unidos desde 1952, "Revue Francaise d'automatique, Informatique Recherche Operationnelle" en Francia desde 1956.

El final de la década de los años 60 y de los 70 ha supuesto la expansión continuada de la I.O. a nuevos contextos tales como los transportes, los problemas urbanos, la salud, la justicia criminal, los servicios sociales en general y la educación.

Puede decirse que en la actualidad la I.O. muestra varias tendencias en el mundo. De un lado, es preciso reconocer grandes logros en el desarrollo de sus teorías y en sus aplicaciones a los diversos campos, advirtiéndose un marcado profesionalismo; de otro, es cierto que existe algún desasosiego descrito certeramente por Churchman en su ensayo "*Philosophical speculations on Systems design*" [9] en el que urge a una mayor expansión y a la búsqueda de su objeto. Por último, es indudable que existen críticas respecto a sus fracasos y a sus contribuciones, pudiendo en síntesis afirmarse que la I.O. responde hoy constructivamente a las diversas áreas a las que se aplica.

En cuanto a su concepto puede perfilarse a través de las definiciones dadas por los distintos autores. Para White reside "en la previsión de información para una mejor toma de decisiones" [10]. Ackoff y Sasieni la definen como "la aplicación del método científico, por equipos interdisciplinarios, a los problemas que comprenden el control de sistemas organizados, hombre-máquina, para dar soluciones que sirvan mejor a la organización como un "todo" [11]. Según Rivett, en la I.O. "el arte principal es el de entender una situación decisoria y construir su estructura [12]. Nagel y Neef escriben que la I.O. es "el estudio de la aplicación de las técnicas matemáticas a la elección entre varias alternativas, de tal modo que la decisión o decisiones maximicen el objetivo medido cuantitativamente" [13]. Es decir, la investigación de operaciones se ocupa de la toma científica de decisiones para resolver problemas complejos que no pueden estudiarse mediante la experimentación científica en sentido estricto, ni con otros métodos quasi-experimentales.

### 3. *Sus etapas fundamentales*

Es frecuente distinguir en un proyecto de investigación de operaciones las cinco etapas siguientes:

1. Formulación del problema.
2. Construcción del modelo matemático que represente el estudio.
3. Deducción de una solución desde el modelo.
4. Contrastación del modelo y evaluación de la solución denominada del mismo.
5. Ejercicios y control de la solución.

Veamos brevemente cada una de estas etapas:

¿Qué se entiende por *formulación del problema*? Sin duda que para formular un problema lo primero que debe saberse es en qué consiste.

Para que exista una situación problemática se necesitan al menos las siguientes condiciones:

- a) Un individuo (I) a quien se le pueda atribuir el problema, individuo que está en un medio ambiente determinado (A).
- b) El individuo debe tener al menos dos posibles cursos de acción ( $C_1$  y  $C_2$ ) y por tanto ha de poder realizar una selección de comportamientos.
- c) Tienen que existir al menos dos resultados posibles ( $O_1$  y  $O_2$ ) de su selección, de los que él prefiere uno más que otro y que se convierte en su objetivo.
- d) Los cursos de acción disponibles, han de ofrecer cierta oportunidad para lograr su objetivo, pero no pueden dar la misma oportunidad a ambos, pues sino su selección carecería de importancia. Así si  $P(O_i/I, C_i, A)$  representa la probabilidad de que ocurra un resultado  $O_i$  si I selecciona  $C_i$  en N; entonces  $P(O_1/I, C_1, A) \neq P(O_2/I, C_2, A)$ . De aquí que las selecciones tengan eficacia diferente para los resultados deseados.

Las situaciones problemáticas pueden aumentar por una combinación de las siguientes condiciones:

- a) El problema tiene un grupo de individuos, no uno solo.
- b) El medio ambiente cambia, de modo que afecta los cursos de acción o los valores de sus resultados.
- c) El número de cursos de acción alternativos puede ser muy grande y los objetivos no consistentes.
- d) Los cursos de acción tomados por el "decisor", pueden ser llevados a cabo por otros (los operadores).
- e) Algunas personas que no intervienen en la toma de decisiones pueden resultar afectadas por ella y reaccionar favorable o desfavorablemente. Así los profesores de una institución escolar, ante la decisión del Ministerio de Educación, del Patronato o del Consejo de Dirección, de introducir una innovación educativa, pueden reaccionar a favor o en contra de la citada innovación.

De cuanto se ha dicho hasta ahora puede deducirse que para formular un problema en la investigación operativa hay que tener información respecto a:

- 1.º Quien tomará la decisión y cual o cuales serán sus objetivos. De aquí se deriva la medida de la utilidad U, para evaluar los cursos alternativos de acción.
- 2.º Los aspectos de la situación que están sujetos al control de quien toma las decisiones (variables controlables  $X_i$ ), y con qué amplitud o restricciones pueden controlarse.
- 3.º Los otros aspectos del medio ambiente, incluidos los humanos también, que puedan afectar los resultados de las selecciones disponibles (las variables no controlables  $Y_i$ ).

4.º Los componentes del modelo de decisión. De aquí que formular un problema para su investigación consiste en "identificar, definir y especificar las medidas de los componentes de un modelo de decisión" [14]. La determinación de las selecciones entre estos componentes (la función  $f$ ) es el objetivo de la fase de investigación correspondiente a la construcción del modelo de la que me ocupo a continuación.

Respecto a los *modelos*, son representaciones simplificadas de la realidad que pueden utilizarse para explicar y predecir fenómenos con un alto grado de precisión. Como en cualquier ciencia, la I.O. utiliza tres tipos de modelos: *icónicos*, *análogicos* y *simbólicos*.

En los modelos *icónicos* las propiedades importantes del fenómeno real se representan de acuerdo con las mismas propiedades, excepto con un cambio de escala. Así, los dibujos, mapas, etc., son específicos y difíciles de manipular para fines experimentales.

Los modelos *análogos* utilizan un conjunto de propiedades para representar a otro. Por ejemplo, las líneas de contorno en un mapa son analogías de elevaciones. Las redes son analogías que se valen de magnitudes y localizaciones geométricas para representar diversas variables y sus interrelaciones. Son menos específicos que los anteriores, pero más fáciles de manipular experimentalmente.

Por último, los modelos *simbólicos* utilizan letras, números y otros tipos de símbolos para representar las variables y sus relaciones. Son más abstractos y se les puede manipular experimentalmente. Toman la forma de relaciones matemáticas con ecuaciones o inecuaciones (desigualdades) que reflejan la estructura de lo que representan. Su estructura fundamental es muy sencilla:

$$U = f(X_i, Y_j)$$

donde  $U$  es la utilidad o valor de la ejecución del sistema.

$X_i$  son las variables (o constantes) controlables, que afectan a  $U$ .

$Y_j$  son las variables no controlables.

Lo habitual es que se requiera más de una ecuación, para expresar el hecho de que algunas de las variables controlables o todas, sólo pueden manejarse dentro de ciertos límites. Por ejemplo, que la suma de cantidades presupuestadas para los diferentes departamentos de un centro educativo no puede sobrepasar la totalidad del dinero disponible. La ecuación de ejecución y las restricciones constituyen juntos, un modelo del sistema y del problema que se quiere resolver.

Una vez construido el modelo, a partir de él se puede *derivar una solución* a través de la simulación o mediante el análisis matemático. Para cierto tipo de funciones,  $f$ , si las restricciones no son muy numerosas pueden utilizarse las matemáticas clásicas para encontrar los mejores valores de las variables controlables. Pero cuando el número de restricciones es grande es difícil utilizar los métodos clásicos, y por ello conviene emplear nuevas técnicas específicas de la investigación operativa. Además, la función,  $f$ , puede consistir en un conjunto de reglas de cómputo (un algoritmo) que nos permite calcular la utilidad,  $U$ , de ejecución para cualquier conjunto específico de valores de las variables, tanto controlables como no controlables, pero sin permitir que encontremos directamente los valores óptimos de las variables controlables. Por lo general, puede especificarse un procedimiento para seleccionar valores sucesivos de pruebas de las variables controlables, de modo que convengan en la solución óptima del problema. Para algunos algoritmos, el costo de encontrar la solución óptima puede resultar muy grande, por lo que es preferible quedarse con una buena solución, aunque no sea la óptima.

Cada vez que calculamos  $U$  a partir de un nuevo conjunto de variables controlables  $X_i$ ,

para valores específicos de  $Y_j$ , conocemos mejor cómo trabaja el sistema. De esta información, puede derivarse que otro conjunto de valores  $Y_i$  contribuyó a la optimización de la solución.

Si se puede estimar la magnitud de estos mejoramientos anticipadamente a esos cálculos detallados, podremos compararla con el costo del cómputo y decidir si se justifica seguir con los ensayos.

Ahora bien, cabe que no siempre se puedan conocer todas las  $Y_j$  anticipadamente a las decisiones de la  $X_i$ . Por ejemplo, si una de la  $Y_j$  son los alumnos que pedirán matricularse el curso próximo, y una de las  $X_i$  es el nivel de escolaridad de este curso, podemos tomar nuestra decisión conociendo la distribución de la probabilidad de la escolarización. En tales casos, si  $f$  es sencilla podremos calcular el promedio de las variables desconocidas y seleccionar las decisiones que nos den mejor promedio. Pero el proceso de promedio es a veces tan complicado que no es factible, y tenemos que experimentar sobre el modelo (simulación), seleccionando los valores de las variables no controlables con las frecuencias relativas impuestas por sus distribuciones de probabilidad. Esto nos permite calcular los valores de  $U$  y finalmente su distribución. Es frecuente llevar a cabo estos experimentos mediante computadores. En ocasiones, tampoco el papel que juega quien toma las decisiones se comprende bien para poderlo representar en el modelo de forma explícita. Entonces en la simulación se les hace intervenir a estos "decisores" en el "juego operacional" en el que los participantes asumen diversos papeles.

Con la investigación de operaciones se busca la optimización de la solución del problema planteado. Una solución óptima es aquella que maximiza o minimiza la medida de la ejecución de un modelo, sujeto a las restricciones contenidas en él. Es decir, la optimización conlleva la mejor solución para el problema que se está modelando. Pero como el modelo nunca es la representación perfecta del problema, la solución óptima nunca será la mejor. En la mayoría de los casos, el modelo es una buena representación del problema, y por tanto, la solución derivada de él será una "buena" aproximación a la solución óptima del problema, pero nada más.

Como los valores de optimización de la solución mejora la ejecución del sistema sólo si el modelo es una buena representación del mismo, la correspondencia del producto con la realidad debe *probarse y valorar la solución*. Es decir, su ejecución se debe comparar con el procedimiento que se quiere sustituir. Esta es la fase de *contrastación del modelo y de solución*.

Por último, como la I.O. no trata sólo de transmitir información, sino que pretende mejorar la realización de los sistemas, los resultados de la investigación deben ponerse en ejecución y establecerse controles sobre la solución. De este modo se lleva a cabo la *evaluación de la investigación*.

#### 4. Problemas prototipo que aborda

Desde el comienzo, la I.O. se ha ocupado de la toma de decisiones en una gran variedad de problemas, la mayoría de ellos de carácter táctico y en menor medida de estratégico.

De hecho, no hay dos problemas tácticos similares. No obstante, los problemas tácticos suelen agruparse en unos cuantos tipos bien definidos. El sentido en el que no son iguales se refiere a su *contenido* y en el que tienden a agruparse es respecto a su *forma*. La forma se refiere al modo en que se relacionan entre sí las variables y constantes de un

problema. El contenido se refiere al significado de dichas variables. Así, muchos pares de variables que se relacionan entre sí pueden representarse en una línea recta. De este modo, los pares de variables que se refieren a propiedades diferentes toman la misma forma y distinto contenido. A través de la abstracción pueden separarse la forma y el contenido de un problema.

El lenguaje en el que expresamos la forma desligado de su contenido es el de las matemáticas. Por esto, un modelo matemático de decisión es la representación del problema. Sin duda que la abstracción de la forma de un problema, a partir de su contenido, requiere el conocimiento de dicho contenido. Los directores de las operaciones conocen mejor el contenido que las técnicas de la I.O. por lo que conviene que los analistas del I.O. aprovechen el conocimiento del contenido que tienen los primeros. De aquí la necesidad de equipos interdisciplinarios para resolver la toma de decisiones de un problema.

Debido a que la I.O. se ocupa predominantemente de ciertos problemas, éstos se les denominan "prototipos", habiéndose desarrollado técnicas para modelarlos y obtener soluciones. Entre estos problemas prototipos la mayoría de los autores destacan los siguientes:

- Inventario
- Asignación
- Reemplazo
- Líneas de espera
- Secuenciación y coordinación
- Trayectorias
- Competencia
- Búsqueda

En la vida real los problemas surgen unos de otros sin que sigan el orden expuesto. Veamos sucintamente en qué radican cada uno de ellos.

Los *inventarios* implican la operación más simple: la de mantener o almacenar recursos. Las decisiones requeridas exigen la determinación de cuanto adquieren de un recurso y cuándo. Una vez resuelto el problema de inventario es necesario resolver la *asignación*. Normalmente la solución al problema de asignación se basa en un modelo en el cual las instalaciones se consideran como disponibles sin interrupción. Pero en la práctica surgen retrasos posibles por las instalaciones, los materiales, etc. Para tener en cuenta estos retrasos se ha de resolver un problema de *líneas de espera*. Los problemas de espera suponen una regla para seleccionar los trabajos a realizar; en algunos casos, el orden en que se efectúan estos trabajos tienen gran efecto en el tiempo total requerido para hacerlos todos, o bien en la distribución de los tiempos de terminación, en la fecha en que se ha prometido. Estamos entonces ante un problema de *secuenciación* de trabajos para cumplir los objetivos previstos.

Si el equipo para realizar el trabajo ha de recibir una preparación específica, según el orden en el que se van a ejecutar los trabajos, han de considerarse los costes de la preparación y la inversión de tiempos. Ello implica resolver un problema de *trayectoria*. Si el problema se considera durante un tiempo prolongado hay que tener en cuenta el *reemplazo* del equipo que se puede gastar. Hasta aquí se han relacionado los problemas de las partes internas. Pero en todo sistema hay que resolver también problemas externos, tales como los abastecedores, clientes o competidores. Aquí tenemos los problemas de *competencia* que suelen ser muy complejos e implican gran riesgo.

Finalmente, cuanto más alcance tenga el problema abordado y el rango de sus

soluciones, será mayor la necesidad de generar y tratar la información requerida. Esto conduce a un estudio de un sistema de apoyo de información y comunicación. Los problemas acerca de la determinación de cuánto y qué información hay que recopilar y cómo manejarla, son problemas de *búsqueda*.

Como puede apreciarse, los problemas se interrelacionan y no se pueden abarcar con un modelo de cualquier clase. Ya que los problemas reales incluyen varios prototipos, pueden descomponerse en sus partes solubles y usar los resultados de una parte como entrada para la siguiente. Así se construyen *modelos múltiples* en los que se busca la solución procediendo de forma secuencial de uno a otro modelo y repitiendo el ciclo hasta obtener la solución satisfactoria.

Por último, conviene hacer constar que otros autores clasifican los problemas según el modelo matemático que requiere su solución y que la relación de los problemas prototipos enumerados puede variar según el campo disciplinar al que se aplique.

Entre las *técnicas* más empleadas para la toma de decisiones destacan la programación lineal, el modelo de inventario y el análisis de nivel óptimo, la programación dinámica, las líneas de espera, el análisis de redes, el análisis de las cadenas de Markov y la simulación Monte Carlo. Es evidente que no puedo ahora ocuparme de estas técnicas porque desbordaría los límites de este trabajo.

A continuación paso a examinar cual es el papel que puede jugar la investigación operacional en un estudio complejo de las variables que inciden en el proceso educativo dentro del sistema escolar.

### 5. Significado de la investigación de operaciones en el estudio global del proceso educativo

Si la investigación de operaciones se define como la toma científica de decisiones aplicada a la solución de problemas complejos que no pueden abordarse con la metodología estrictamente experimental, es fácil ver la significación que alcanza en el estudio de los problemas educativos. Al igual que la investigación de operaciones se aplica a la toma de decisiones en los problemas militares e industriales, cabe hacer uso también de este método científico para la elección entre las alternativas posibles de los problemas pedagógicos.

De hecho, la investigación operativa ha prestado ya abundantes contribuciones en el análisis de las operaciones llevadas a cabo en las instituciones educativas. La primera discusión sofisticada sobre este nuevo enfoque de los problemas educativos la hizo Kershaw y McKean en 1959 en su obra *Systems Analysis and Education* [15].

El dominio de la Pedagogía Experimental contiene entidades humanas y en la medida en que tratamos con elementos humanos la teoría de la decisión ha de contar con la incertidumbre respecto a la determinación de la conducta humana. La diferencia esencial entre la conducta física y las teorías de la conducta electiva humana reside en la capacidad del hombre para pensar. Como indica Knight "Percibimos el mundo antes de reaccionar a él y reaccionamos no a lo que nosotros percibimos, sino a lo que inferimos... Debemos inferir lo que la situación posterior habría sido sin interferencia y qué cambio producirá la acción. La diferencia fundamental es que puede reaccionar a una situación antes de que ésta se materialice; puede ver llegar las cosas" [16].

Es sabido que el conocimiento de las causas de los fenómenos se adquiere por dos vías tradicionales, la experimentación desarrollada por Fisher, explicada en la agricultura y la

observación preconizada por Wright en genética. Hoy es aceptado por todos, menos por los experimentalistas a ultranza, que una gran parte de la Pedagogía Experimental está basada en la observación más que en la manipulación de las variables educativas. De aquí la vigencia que tiene el enfoque de Wright que ha sido llamado por Li, en 1969, *análisis de sendas*; por Duncan en 1973, *ecuaciones estructurales*; por Lleise en 1975, *análisis causal* y por Joreskog y Sabam en 1979 *análisis de estructura de co-varianza*. En tales análisis se identifican primero las sendas del modelo, utilizando la solución algebraica de educaciones simultáneas, para estimar a continuación las influencias. Después de la introducción de Wright (1921-1934) en la genética se ha necesitado medio siglo para que lleguen estos análisis a la Pedagogía.

Ahora bien, la investigación de operaciones sitúa a la Pedagogía Experimental ante procedimientos nuevos, si bien continuadores de las técnicas observacionales. En tanto que estudia las decisiones tiene la meta, no de emplear el papel del juicio personal y arbitrario, sino de limitarlo; no de movernos hacia una mayor subjetividad, sino de "podarla y domesticarla" y de darle sólo sus papeles apropiados.

Un prerrequisito esencial para que surja una decisión es la existencia de un estado motivante de ambigüedad. Smith [17] considera que la decisión es simplemente la resolución de la ambigüedad, aún cuando la resolución de la ambigüedad puede lograrse sin decidir en ningún sentido.

Así en un problema educativo  $Q = a_b$ , la ambigüedad puede enunciarse diciendo ¿Qué acto realizamos? La elección entre las alternativas educativas en la que resuelve la ambigüedad. El conjunto de acciones alternativas identifica la ambigüedad y la resolución de esa ambigüedad constituye el proceso de elección que culmina en la decisión. La decisión científica en la Pedagogía Experimental requiere enlazar el estado de ambigüedad con el acto de selección por medio de un conjunto de operaciones inambiguas e identificables. La elección es el punto final de un proceso de selección que como señala Churchman [18] no siempre indica una preferencia. Piénsese por ejemplo en la elección aleatorizada en la que hay una probabilidad específica de que una cierta alternativa será elegida. También, como indica Dunlop, "puede haber elección sin decisión; pero no puede haber decisión sin elección" [19]. En consecuencia, puede afirmarse que el objeto de la Teoría de la decisión es la posibilidad de convertir la elección en decisión parcial o plena. Es decir, el propósito de la investigación operativa en la Pedagogía Experimental es lograr la toma científica de decisiones pedagógicas. Con la investigación de operaciones, la Pedagogía Experimental puede abordar estudios globales sobre el progreso educativo de los alumnos en el sistema escolar. Para ello se requiere la descomposición de la actividad educativa en sus diversos componentes, incluyendo la identificación de cada ambigüedad y su forma.

De esta suerte, la toma de decisiones en los sistemas escolares requiere la descripción cuantitativa del sistema como una operación de producción, con objeto de poder manipular el sistema para hacerlo más efectivo. Los análisis del proceso educativo son análogos a los otros procesos de producción. También la educación transforma el material de entrada, es decir, los individuos parcialmente educados, en productos de salida, que son los individuos mejor educados; emplea para ello un capital invertido en los edificios escolares, laboratorios, bibliotecas, campos de deportes, autobuses, etc.; un personal, que son los administradores, profesores y orientadores; y un proceso constituido por los programas curriculares y extracurriculares. Un modelo cuantitativo relaciona correctamente los diversos factores escolares a los resultados educativos. De esta manera, puede establecerse un marco amplio en el que se realicen diversas investigaciones operacionales

relacionadas con el sistema escolar cabe otorgar mayor precisión al discutir los pros y los contras de las políticas y objetivos educativos propuestos.

Siguiendo el modelo global del sistema escolar desarrollado por Mood para la "U.S. Office of Education" [20], cabe estudiar el progreso educativo de los estudiantes mediante la I.O., a partir de las 6 grandes entradas siguientes:

- a) Las propias capacidades y actitudes de los estudiantes.
- b) El apoyo que presta la familia a su educación.
- c) El respaldo por sus compañeros al esfuerzo educacional.
- d) El apoyo de la comunidad a la educación.
- e) Las propiedades del sistema educativo.
- f) La postura de la sociedad respecto a la educación.

Estos grandes determinantes de la educación del alumno cabe descomponerlos en sus elementos para lograr medirlos. Un ejemplo de tal especificación puede ser el siguiente:

a) *Componentes del estado educativo de los educandos*

— Rendimiento de las aptitudes y conocimientos

- Comunicaciones
- Lenguajes matemático y de computadoras
- Ciencias naturales
- Ciencias sociales
- Humanidades
- Arte

— Desarrollo personal

- Competencia social
- Sentido de responsabilidad
- Confianza en sí mismos
- Creatividad
- Ética
- Ambición
- Capacidad de concentración
- Juicio

b) *Componentes del apoyo de la familia a la educación*

- Un hogar confortable física y psicológicamente
- Presiones sobre el estudiante para que trabaje bien en la escuela
- Presiones sobre la escuela para que eduque bien al estudiante
- Provisión de conocimientos educativos

c) *Componentes del respaldo de sus compañeros*

- Actitud positiva hacia el rendimiento académico
- Expectativas educativas altas
- Ayuda al estudiante con su trabajo escolar

d) *Componentes del apoyo de la comunidad*

- Clima social sano
- Creencia en el valor de la educación
- Participación en las actividades escolares
- Apoyo económico
- Provisión de recursos culturales y de diversión

e) *Componentes del sistema escolar*— *Respecto al profesor*

- Creencia en la educabilidad de sus alumnos
- Competencia en la organización y dirección de la clase
- Conocimiento del campo que enseña
- Conocimiento de la tecnología educativa
- Capacidad para comunicar con los estudiantes
- Capacidad para motivarlos

— *Respecto a la Administración*

- Selección de los fines apropiados a las necesidades de los estudiantes y a la sociedad
- Competencia en crear organizaciones efectivas de profesores y estudiantes para alcanzar los objetivos
- Competencia en la dirección de programas y en la modificación de los mismos si los objetivos del rendimiento no se cumplen
- Capacidad para mantener comunicaciones claras entre la escuela y la sociedad.

— *Respecto al curriculum y a las actividades complementarias*

- Relación con las oportunidades sociales y económicas
- Adaptación a las capacidades y deseos de los abusos
- Adecuación a las necesidades individuales de los estudiantes
- Programas para la salud y la alimentación
- Programas extracurriculares.

— *Respecto a las facilidades y recursos*

- Cantidad y calidad de aulas, laboratorios, bibliotecas, etc.
- Disponibilidad de equipamiento para el aprendizaje: libros, proyectores computadores, T.V., instrumentos musicales, obras de arte, equipos de deportes, etc.
- Adecuación del espacio y de los campos de deportes.
- Variedad y cualidad de las facilidades culturales y recreativas de la comunidad usados por la escuela.

f) *Componentes del apoyo de la sociedad*

- Libertad para alcanzar el conocimiento
- Leyes y políticas respecto a la organización y al gobierno de la escuela, al curriculum, al personal y a la asistencia

— Provisión de recursos para la educación

Todos estos factores son elementos de entrada, a excepción de los componentes del estado educativo de los estudiantes que son factores de entrada y también de salida, según se considere al inicio o al fin de cada curso escolar [21].

Después, sería preciso construir los ítems adecuados para poder medir cada uno de esos componentes. Ahora bien, las medidas serán sólo indicadores, dado que los componentes son tan complejos y abstractos que no se puede hacer una lista comprensiva de sus elementos. Para que sea útil el estudio, el modelo deberá ser relativamente completo. La omisión de elementos de entrada o salida relevantes puede distorsionar el estudio. Esperemos que en un futuro se desarrolle un modelo estructural comprensivo del proceso educativo, consistente en un gran número de ecuaciones simultáneas que relacionen los factores de entrada y salida, los elementos de entrada entre sí y cada uno de los componentes de salida con los demás.

Esperemos que en la Pedagogía Experimental logremos modelos complejos, como ocurre en la Econometría. Piénsese, por ejemplo, en los trabajos de Duesenberry, en el Brookings Institute, con más de cien ecuaciones [22] que representan el modelo estudiado.

Sin embargo, en la situación actual estamos lejos de contar con tales modelos, por el desacuerdo en la definición de las variables, la falta de conocimientos de las relaciones entre dichas variables y la escasez de datos para explorar tales relaciones.

Por ello, sólo podemos apuntar modelos primitivos, usualmente consistentes en ecuaciones de regresión que pretenden relacionar las puntuaciones en los tests de rendimiento con algunas variables independientes que representa las influencias familiares y escolares.

En términos de las entradas y resultados educativos descritos antes puede hacerse el modelo general de regresión siguiente.

$$E_t = f(E_0, C, F, I, C, S)$$

donde  $E_0$  = estado inicial del alumno en los catorce componentes citados

$E_1$  = estado final de alumnos en los mismos catorce componentes

P = indicador o número índice que represente las influencias de los compañeros

I = Indicador que represente los condicionantes de la institución educativa

F = Indicador que representa los condicionantes de la familia

C = Indicador representativo de las influencias de la comunidad

S = Indicador representativo de los condicionantes de la sociedad

f = función lineal de los coeficientes de regresión.

Las cinco medidas suelen ser funciones lineales de regresión de sus componentes, que a su vez son funciones de los ítems que los especifican. Estos modelos se construyen, normalmente, utilizando estos grandes condicionantes como variables independientes, más que como variables ortogonales derivadas de los componentes mediante el análisis factorial. La razón estriba en que una variable ortogonal dada se compone frecuentemente de diversos componentes de tal forma que dificulta la comprensión intuitiva de lo que la variable representa. Conviene tener en cuenta que el modelo debe ser accesible a administradores y educadores que no tengan grandes conocimientos estadísticos.

Es preciso destacar que los componentes más importantes de entrada que afectan el aprendizaje se presentan confundidos. De aquí que los esfuerzos para desenredar sus efectos hayan tenido hasta ahora poco éxito. De hecho, existe una gran interacción entre la influencia del hogar y de la escuela en el aprendizaje, por lo que difícilmente pueden separarse sus efectos.

Supongamos por ejemplo que hemos obtenido los números índices para las entradas más importantes y que examinamos un conjunto R de datos de rendimiento aritmético de 8.º de E.G.B., mediante la regresión lineal de los cinco indicadores antes dichos. La ecuación de regresión será la siguiente:

$$R = b_1P + b_2F + b_3I + b_4C + b_5S$$

Donde  $b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$  son los coeficientes de regresión de cada variable independiente. La aplicación de la regresión reducirá la varianza bruta de las puntuaciones de rendimiento a  $V(1 - R^2)$ .

El problema reside en la correlación entre las variables, de tal forma que cualquier grupo de tres o cuatro variables puede explicar tanta varianza como las cinco juntas. Para apreciar en qué medida cada variable independiente contribuye a la varianza de la variable independiente puede utilizarse el análisis de la partición de la varianza en sus partes comunes y únicas, desarrollado por Mood [23] y Mayeske y otros [24] y que habitualmente se conoce con el nombre de análisis de comunalidad. Estos autores aplicaron el análisis de comunalidad a los resultados del estudio de Coleman sobre Igualdad de Oportunidades en Educación [25]. Sin que se puedan examinar ahora en detalle dichos resultados, sí cabe destacar que el 82 por ciento y el 79 por ciento de la varianza en el rendimiento entre las escuelas lo explican por separado el índice de los compañeros (P) y el de la escuela (I). Si ambos índices se consideran juntos llegan a explicar el 86 por ciento de la varianza de la variable dependiente. Sin embargo, la proporción de la varianza atribuida únicamente a los compañeros y únicamente a las instituciones educativas sólo alcanza el .7% y el .4% respectivamente, asociándose la mayor parte de la varianza explicada del rendimiento, el 5%, tanto a las características de los compañeros como a las de las escuelas.

El empleo de la partición de la varianza mediante el análisis de comunalidad para apreciar la contribución común y única de cada una de las variables independientes a la varianza de la variable dependiente, está siendo superada por otros modelos. Por otra parte, con el análisis de comunalidad, cuando las dos variables independientes correlacionan negativamente entre sí, aunque correlacionen positivamente con la covariable dependiente, las comunalidades pueden ser negativas. Ahora bien, al interpretar las comunalidades negativas hay que tener en cuenta que su poder de explicación se incrementa en exceso al incluir la otra variable en la regresión.

Los investigadores operacionales han realizado grandes esfuerzos en la elaboración de modelos causales comprensivos que incluyan variables bien definidas y correctamente medidas en un conjunto de relaciones causales, similares a los modelos de ecuaciones simultáneas usadas por los especialistas en econometrías tales como Johnson [26], Goldberger [27] o Jöreskog [28].

Después de la discusión sofisticada sobre las investigaciones operativas aplicadas a la educación realizada por Kesrhaw y McKean en 1959 [29], Levin en 1970 [30], Michelson en 1970 y 1972 [31] y Adelman y Parti en 1972 [32] llevan a cabo las primeras investigaciones operacionales pedagógicas. Michelson analiza los resultados de los datos del estudio sobre la igualdad de oportunidades en la educación, empleando el siguiente sistema de tres ecuaciones desarrollado por Levin y adaptado por mí

$$R = b_1A + c_1C + \sum_i d_{1i} X_i$$

$$A = a_2R + \sum_i d_{2i} X_i$$

$$C = a_3R + \sum d_{3i} X_i$$

donde R = puntuación del rendimiento académico

A = medida de las actitudes de estudiante hacia sus propias actitudes y oportunidades de éxito.

C = medida de las aspiraciones de los estudiantes de obtener buenas calificaciones en la escuela.

Como puede apreciarse, la primera ecuación no es suficiente ya que la actitud del estudiante, "A", hacia sí mismo depende en gran parte de su propio éxito en la escuela, medido por los tests de rendimiento R, de aquí la necesidad de la segunda ecuación. En cuanto a la tercera ecuación se debe a que la aspiración de buenas calificaciones y las puntuaciones en el rendimiento se afectan mutuamente.

Estas son variables endógenas, mientras que la X son variables exógenas, representadas por las características del historial del estudiante y las características de la escuela. Mediante las sustituciones de las ecuaciones, se obtiene una forma reducida de tal modo que R depende sólo de las X, obteniéndose una apreciación más realista de la dependencia de R sobre las variables exógenas. Mood [33] presenta la comparación de los resultados obtenidos mediante el análisis de regresión simple y este nuevo modelo estructural en su forma reducida.

Las variables exógenas se explicitan más en el modelo estructural, incluyendo desde edad, sexo, tamaño y posesiones de la familia, nivel educativo del padre, trabajo de la madre, experiencia del profesor, diferencia social entre el profesor y los alumnos, hasta si la escuela cuenta con una buena Biblioteca y si dispone de salón de actos, cafetería y gimnasio.

En ambos estudios se analizan una amplia lista de variables exógenas si bien sólo se retienen aquéllas que implican una contribución significativa a la varianza del rendimiento educativo. Conviene observar que los dos estudios difieren más en el número y el tipo de variables seleccionadas que en los coeficientes de estas variables, si bien el modelo estructural de las tres ecuaciones es más sofisticado y completo para representar el proceso educativo.

Pero es preciso decir que no existe aún en la Pedagogía Experimental un criterio objetivo para determinar la validez del modelo causal, ni la superioridad de un modelo causal con relación al análisis de regresión. Sólo mediante la construcción y la aplicación de estos modelos se podrá alcanzar su validez. Esta tarea recae sobre todos los que nos sentimos experimentalistas y hemos de contribuir con nuestros trabajos para lograrlo.

## 6. Principales aportaciones de las investigaciones operacionales pedagógicas

Aunque aún se puede calificar a la investigación de operaciones aplicada a la Pedagogía Experimental como el "extraño en el barrio", es preciso reconocer que hoy se cuenta con una serie de investigaciones operativas pedagógicas que han proporcionado importantes hallazgos educativos.

De una parte, abundan los trabajos que emplean la investigación de operaciones en *problemas de asignación* de profesores, con objeto de incrementar su efectividad; así mismo son numerosos los estudios sobre los sistemas de *información* de los centros escolares para que en un futuro puedan incidir en el seguimiento científico del profesor, de

cada alumno y la adaptación de curriculum a sus necesidades. Por otra parte, hay trabajos que estudian los problemas de *espera* en las Secretarías, en las Matrículas, en las facilidades deportivas, etc. También el problema del sistema de *transporte* con los autobuses escolares se estudia con estas técnicas. Si se quisieran esquematizar los problemas educativos que, hasta el momento presente, han sido estudiados con las técnicas de la investigación de operaciones podríamos hacer la siguiente clasificación.

Primero, existe una amplia literatura en el campo de las relaciones de la *educación y la economía*, habiéndose construido modelos útiles en los que la educación juega un papel importante en el desarrollo económico. Normalmente se considera que la base teórica que enfoca la educación como un capital económico se debe a Theodore W. Schultz, quien trata por primera vez las escuelas, no como un gasto sino como una inversión de capital productivo en su obra *The Economic Value of Education* [34]. Un buen número de investigaciones estiman el valor de la inversión midiendo los salarios recibidos por las personas con un nivel de educación superior. En este sentido merecen destacarse las investigaciones de H. P. Miller que han cubierto los años de 1937-1959 [35]. Interesa subrayar, sin embargo, las observaciones derivadas de los trabajos de Becker que descubren cómo los ingresos personales atribuidos a la Educación se deben más bien a la capacidad superior de estas personas; es decir, las personas más capacitadas logran un rendimiento más alto en la escuela y por ello suelen alcanzar niveles educativos superiores. Sin embargo, pueden también ganar más dinero sin haber obtenido más grados en educación. El enfoque económico general se usa como base para evaluar los programas nacionales diseñados con objeto de asistir mediante la educación y el entrenamiento a aquellos segmentos de la población más desfavorecidos [36].

Entre las investigaciones en este campo quisiera destacar la de Ackoff "*Toward strategies Planning of Education*" [37] y la de Spiegelman *A Benefit cost Model to Evaluate Educational Programs* [38]. Ackoff presenta un modelo conceptual sofisticado de la sociedad total para examinar el papel de la educación en la sociedad. Es la continuación de un primer modelo elaborado por Platt. El modelo, sin embargo, no ha sido especificado con detalle, ni aplicado al análisis de datos educativos. En cuanto al trabajo de Spiegelman desarrolla un modelo de 13 ecuaciones que incluye los costos generales y privados y los beneficios del Programa I para "la educación Primaria y Secundaria" de San Francisco.

Otro campo al que se han aplicado las técnicas de la investigación de operaciones es al *aprendizaje*, utilizando modelos estocásticos. Destacan en este sentido las investigaciones de Bush y Estes tituladas *Studies in Mathematical Learning Theory, y Stochastic Models of Learning* [39]. Combinan los factores del rendimiento del alumno a través de los diversos campos académicos para lograr la asignación de puntuaciones totales a un estudiante o a un grupo. Page [40] habla de una medida nueva del *rendimiento escolar* en forma de puntuación T (Con  $X = 50$  y  $S = 10$ ) denominada "Bentee".

Esta puntuación "Bentee" o rendimiento total consiste en la suma de las medidas de los siete campos considerados, siendo cada medida ponderada por el valor juzgado del campo. En el estudio al que hace referencia Page sobre la valoración de los alumnos por diversos jueces, unos educadores y los otros no, todos escogieron el campo verbal como el más valioso, el de la personalidad el segundo, el cuantitativo, el tercero, etc. La variación individual fue extrema, pero el acuerdo entre los dos grupos fue casi perfecto.

En el árbol se observa que el algoritmo para la asignación de "Bentees" es recursivo en los distintos niveles del árbol con jueces diferentes. Se puede alcanzar desde los valores

más elevados sociales o filosóficos hasta el nivel de ítem del test o de la conducta específica de la personalidad. De este modo se puede escoger como indica Page —“un programa a pesar de los perfiles distintos de rendimiento”— [41].

Dado que la planificación, la administración y las operaciones de la educación dependen del número y variedad de los alumnos que van a recibir educación, es lógico que se haya prestado gran atención al desarrollo de modelos para proyectar las *matrículas* y para predecir el número de estudiantes que pasarán de un nivel educativo a otro.

En estas investigaciones suelen emplearse modelos de regresión, sobre todo modelos de autorregresión que predicen, por ejemplo la matrícula de los alumnos de Segundo curso del próximo año en base a los alumnos que este curso están matriculados.

También se utilizan *modelos de flujo* que contemplan el paso de un nivel a otro, especificados matemáticamente mediante ecuaciones que reflejan la afluencia de estudiantes. Así por ejemplo, los alumnos de COU pasan a la Universidad, a las Escuelas Universitarias, a las Escuelas del Ejército, al empleo o al desempleo. Puesto que la educación se realiza en ciclos anuales, la alternativa del modelo tipo-Markov se emplea con frecuencia. Como los estudiantes tienen estados diversos y como el cambio de estos estados es instantáneo al terminar el año escolar, puede emplearse una matriz de transición análoga a la matriz de probabilidad del proceso estocástico de Markov. Los elementos de la matriz en los modelos educativos se consideran, no en términos de probabilidades, sino simplemente en términos de la proporción de estudiantes que cambian de un estado al siguiente. De aquí que se emplee propiamente el modelo tipo Markov más que el modelo Markov.

Quisiera subrayar entre las investigaciones las realizadas por Conlisk, Marshall y Oliver y Hopkins, que emplean modelos descritos antes, además de las investigaciones de la U.S. Office Education. Conlisk en *The Determinants of School Enrollment and School Performance*, haciendo uso de los datos del curso 1960, relaciona las realizaciones educativas en las escuelas públicas con el sexo, la raza, el ambiente urbano-rural, el ingreso de los padres y la educación de éstos mediante un análisis de regresión múltiple [42].

El trabajo de Marshall interesa por la comparación que realiza entre el modelo tipo Markov y el análisis de cohorte con los estudiantes de la Universidad de Berkeley [43] respecto al de Oliver y Hopkins "*An Equilibrium Flow Model of a University Campus*" desarrolla un modelo de flujo con análisis de cohorte, que relaciona las admisiones y matrículas de los estudiantes con la demanda final del tipo de educación requerida por la sociedad. El modelo lo aplica a los datos de la Universidad de Berkeley [44]. Por último, cada año la "Office of Education" realiza estudios proyectivos detallados, a diez años vistas, respecto a las diversas categorías de estudiantes matriculados, que comprenden desde el Kindergarten hasta el doctorado, basados en el análisis de regresión múltiple [45]. Otra serie de trabajos utilizan también el análisis de regresión y de cohorte en modelos que abordan el estudio de la mano de obra y la educación. De esta suerte, Balmisky y Reisman desarrollan modelos de flujo de mano de obra, con seguimiento de la persona a través de su educación y los sectores de empleo, con el objetivo de minimizar los costes de la alta o baja demanda en las distintas categorías de la mano de obra humana [46]. Abundan las investigaciones sobre la toma científica de decisiones respecto a la *localización eficiente de los recursos* para las diversas actividades educativas. En estos estudios se hacen uso sobre todo de las técnicas de programación lineal, de la simulación y del análisis de regresión. Así, por ejemplo, el estudio de Besel [47] que utiliza la programación lineal para localizar los

niveles de rendimiento requeridos, asumiendo que los estudiantes necesitan diversos recursos según sus aptitudes. El modelo de la simulación se emplea a veces para planificar las actividades de las escuelas de un distrito como en el trabajo de Szekely y otros [48]. En cuanto a Lerman, utiliza el análisis de regresión sobre los datos del censo para estudiar la influencia de las características familiares sobre la educación y el empleo de varias categorías de jóvenes [49].

Son diversos los trabajos sobre el *diseño de las facilidades para los estudiantes* como el de Smith que desarrolla un proceso para asignar los grupos de los cursos a las aulas disponibles, bajo el criterio de que sea el menor número posible de estudiantes el que no esté en el curso deseado porque no haya sitio para él [50].

Por último, quisiera aludir a los estudios sobre la toma científica de decisiones en la solución del *problema de la integración racial* de los alumnos en las escuelas. Así por ejemplo, en el Distrito de Florida, Belford y Ratlift realizan un estudio mediante el modelo de flujo para romper la segregación racial bajo el criterio de que los alumnos asistiesen a las escuelas más próximas [51].

Como observación final quisiera decir que no se trata de establecer una competencia entre la investigación de operaciones y sus técnicas con la investigación estrictamente experimental y su metodología científica. En mi opinión, al presentar la investigación de operaciones como una alternativa a la investigación pedagógica estrictamente experimental, trato de destacar la complementariedad de ambas. Estimo que para que la Pedagogía Experimental vaya logrando explicitar su objetivo propio, es decir, la explicación del fenómeno educativo y la formulación de las teorías científicas que mejoren y hagan avanzar la educación, necesita aplicar tanto la metodología estrictamente experimental como la quasi-experimental y las técnicas de la investigación de operaciones. En síntesis, y desde la perspectiva amplia de la Pedagogía Experimental, considero que es deber de los pedagogos experimentalistas la puesta al día de las diferentes estrategias de investigación y de sus respectivas técnicas, de tal modo que se logre ampliar el conocimiento de la realidad educativa y la solución de los problemas pedagógicos complejos que no pueden abordarse sino mediante el tipo de investigación de operaciones que acabo de perfilar en sus aspectos esenciales.

*Dirección del autor:* Elvira Repetto Tala vera, Facultad de Filosofía y Ciencias de la Educación, Edificio B, planta 6.ª, Madrid-3.

#### NOTAS

- [1] ASHBY, E. (1958). *Technology and the Academics*, p. 28, (London, Macmillan).
- [2] HAMILTON, D. (1980). Educational Research and the Shadows of Francis Galton and Ronald Fisher, pp. 153-169, en DOCKWELL, W. B. y HAMILTON, D. (Eds.) *Rethinking Educational Research* (London, Hodder and Stoughton).
- [3] HOLMES, E. (1972) Book Review, p. 92, *British Journal of Educational Psychology*, XLII.
- [4] NISBET, J. (1980), Educational Research: The State of the art., p. 5, en DOCKWELL, W. B. y HAMILTON, D. (Eds.) *Rethinking Educational Research* (oc).
- [5] YOUNG, M. (1965) *Innovation and Research in Education* (London, Routledge and Kegan Paul).
- [6] HALSEY, A. H. (1972). *Educational Priority*, Vol. 1 (London, H.M.S.O.).
- [7] RICHARDSON, E. (1975) *Authority and Organisation in the Secondary School*, p. 8 (London, Macmillan).
- [8] PAGE, E. B. (1981) "El extraño en el barrio". La nueva disciplina científica en las ciencias de la educación, pp. 89-109, en *La calidad de la educación. Experiencias científicas y condicionamientos individuales y sociales*. (Madrid, C.S.I.C., Instituto de Pedagogía "S. José de Calasanz").

- [9] CHURCHMAN, C. W. (1978) Philosophical speculations on Systems design, pp. 25-39, en MODER, J. J. y ELMAGHRABY, E. S. *Handbook of operations Research. Foundations and Fundamentals*, (New York, Van Nostrand Reinhold Co.).
- [10] WHITE, D. J. (1979) *Teoría de la decisión*, p. 173 (Madrid, Alianza Universitaria).
- [11] ACKOFF, R. L. y SASIENI, M. W. (1979) *Fundamentos de la Investigación de operaciones*, p. 17 (México, Limusa).
- [12] RIVETT, D. (1971). *La investigación operacional*, p. 23 (Barcelona, Nueva Biblioteca. Labor).
- [13] NAGEL, S. y NEFF, M. (1976) *Operations Research Methods*, p. 7 (London, Sage Publications, Inc.).
- [14] ACKOFF, R. L. y SASIENI, M. W. *o.c.*, p. 37.
- [15] KERSHAW, J. A. y MCKEAN, R. N. (1959) *Systems Analysis and Education* (Sta. Mónica, California, The Rand Corporation).
- [16] KNIGHT, F. (1964) *Risk, Uncertainty and Profit. Reprints of Economic Classics* (New York, A. M. Kelly, Bookseller).
- [17] SMITH, B. (1972) *Mode of Enquiry and Research Tasks for General Systems Analysis* (Paper RAC-TP-72 American, Department of Army).
- [18] CHURCHMAN, C. (1961) *Prediction and Optimal Decision* (New Jersey, Prentice-Hall, Englewood Cliffs).
- [19] DUNLOP, W., (1951) The Representation of choice, *Terminological Review Quarterly*. Bulletin n.º 3, September, pp. 342-353.
- [20] MOOD, A. M. (1969) Macro-analysis of the American Educational System, *Operations Research*. XVII, pp. 770-784.
- [21] MOOD, M. (1978) Educational Process, en *Handbook of Operations Research*, pp. 454-456, Vol. II (New York, Van Nostrand Reinhold).
- [22] DUSENBERRY, J. S. et al., (1965) *The Brookings Econometric Model of the United States*. (Chicago, Rand Mc Nally).
- [23] MOOD, A. M. (1971) Partitioning Variance in Multiple Regression Analysis as a Tool for Developing Learning Models, *American Educational Research Journal*, VIII, pp. 191-202.
- [24] MAYESKE, G. W. y otros (1973) *A Study of the Achievement of our Nation's Students* (Washington, U.S. Government Printing Office).
- [25] COLEMAN, S. (1966). *Equality of Educational Opportunity* (Washington, U.S. Government Printing Office).
- [26] JOHNSON, J. (1963). *Econometric Methods* (New York, Mc Graw Hill).
- [27] GOLDBERGER, A. S. (1964). *Econometric Theory* (New York, Willey).
- [28] JORESKOG, K. G. (1971) *A General Program for Analysis of Covariance Structure Including Generalized MANOVA* (New Jersey, Princeton, Educational Testing Service).
- [29] KERSHAW, J. A. y Mc KEAN, R. N. (1959). *Systems Analysis and Education* (Sta. Monica, California, The Rand Corporation).
- [30] LEVIN, H. M. (1970) A New Model of Effectiveness, en *Do Teachers Make Difference?* (Washington, U.S. Government Printing Office), pp. 57-78.
- [31] MICHELSON, S., (1970) The Association of Teacher Resources with Children's Characteristics, en *Do Teachers Make Difference?* (o.c.) pp. 120-168.
- [32] ADELMAN, I y PARTI, M. (1972) The Determinants of Students Achievement, *Research Bulletin* (New Jersey, New Brunswick, Rutgers University), pp. 68-81.
- [33] MOOD, A. M. (1978) *Educational Process*, p. 465, en *o.c.*
- [34] SCHULTZ, Th. W. (1962) *The Economic Value of Education* (New York, Columbia University Press).
- [35] MILLER, CH. P. (1960) Annual and Lifetime Income in Relation to Education: 1973-1959, *American Economic Review*, L, pp. 962-986.
- [36] BECKER, G. S. (1964) *Human Capital* (New York, Columbia University Press).
- [37] ACKOFF, R. L. (1969) Toward Strategies Planning of Education, en *Efficiency in Resource Utilization in Education* (Paris O.E.D.D.).
- [38] SPIEGELMAN, R. G. (1968) A benefit-cost Model to Evaluate Educational Program, *Socio-Eco. Plan. Sci.*, I, pp. 443-460.
- [39] BUSH, R. R. y ETES, W. K. (1959) *Studies in Mathematical Learning Theory* (Stanford, Calif. Stanford University Press). (1955) *Stochastics Models of Learning* (New York, Willey).
- [40] PAGE, E. (1981) El extraño en el barrio, en *La calidad de la educación*, p. 107 (o.c.).
- [41] PAGE, E. (1981). El extraño en el barrio, p. 108, en *o.c.*
- [42] CONLISK, J. (1969) The Determinants of School Enrollment and the School Performance, *Journal of Human Resources*, IV, pp. 140-157.
- [43] MARSHALL, K. T. (1973) A Comparison of Two Personnel Prediction Model, *Operation Research*. XXI, pp. 810-822.
- [44] OLIVER, R. M. y HOPKINS, D. S. P. (1972) An Equilibrium Flow Model of University Campus, *Operations Research*, XX, pp. 249-269.
- [45] SIMON, K. (1980) *Projection of Educational Statistics* (U.S. office of Education Dep. of HEW., Publicación anual).
- [46] BALINSKY, W y REISMAN, A. (1972) Some Mampower Planing Models Basard on Level of Educational Atteinement *Management Science*, XVIII, B 691-B 705.
- [47] BESEL, R. (1972) A líneas Model of the Allocation of Instructional Resources. *Socio-Eco. Plan. Sci.* VI, pp. 501-506.
- [48] SZEKELY, M. y otros (1967). Design of a Planning Model for an Urban School District, *Socio-Econ. Plan. Sci.* I, pp. 231-242.
- [49] LERMAN, R. I. (1972) Some Determinants of Youth School Activity, *Journal of Human Resources*, VIII, pp. 366-379.
- [50] SMITH, R. L. (1971) Accommodating Student Demand for Courses by varying the Classroom-Size Mix, *Operations Research*, XIX, pp. 862-874.
- [51] BELFORD, P. y RATLIFF, H. D. (1972) A Network-Flow Model of Recally Balancing Schools, *Operations Research*, XX, pp. 619-628.

**SUMARIO:** El artículo pretende poner de manifiesto la significación que en la actualidad tiene la investigación de operaciones como una de las posibles estrategias de la investigación pedagógica científico-empírica. Está dividido en seis apartados. El primero presenta una visión panorámica de los principales tipos de investigación pedagógica científico-empírica, situando la investigación de operaciones como "ese extraño en el barrio" que se está introduciendo en la Pedagogía Experimental. Los tres apartados siguientes se dedican a unas breves consideraciones sobre el origen, las etapas y los problemas prototipos de la investigación operativa. Los dos últimos epígrafes constituyen la parte esencial del trabajo dado que explicitan el significado que la investigación operacional tiene para el estudio complejo del proceso educativo y sintetiza las aportaciones más relevantes que este tipo de investigación ha ofrecido al campo pedagógico. El interés del artículo radica fundamentalmente en la novedad del contenido, puesto que apenas se ha escrito sobre este tema ni se han realizado investigaciones de operaciones pedagógicas en España.

*Descriptores:* The history, nature and use of operations research; Operational system; Human decision; Models and applications of operations research to education; Stochastic models of learning; Enrollment and cohort analysis; Design of facilities.