UNA PROPUESTA PARA LA MODELIZACIÓN CUANTITATIVA DEL RENDIMIENTO MATEMÁTICO EN ESTUDIANTES DE INGENIERÍA

Antonio Humberto Closas, Guillermo Manuel Sampallo, Edgardo Alberto Arriola
Facultad Regional Resistencia – Universidad Tecnológica Nacional – Argentina
hclosas@eco.unne.edu.ar – gsampallo@gmail.com – earriola2006@yahoo.com.ar

***Palabras clave*:** rendimiento académico, análisis multivariante, educación matemática, estudiantes universitarios

Resumen

El propósito de esta comunicación es dar a conocer las principales características metodológicas que se prevé utilizar en la investigación cuyo objetivo es elaborar un modelo que explique de qué manera ciertos factores, personales y contextuales, inciden en el rendimiento matemático de los estudiantes de Ingeniería. El trabajo responde inicialmente a un diseño no experimental, explicativo y descriptivo de corte transversal. En la elección de la muestra emplearemos el método estratificado, siendo la unidad muestral el grupo-clase. El abordaje empírico del estudio se realizará mediante técnicas estadísticas multivariantes, las cuales permitirán en virtud de sus peculiaridades efectuar un enfoque integral y unificado del fenómeno, que se estima será de utilidad para la toma de decisiones en el área educativa.

1. Introducción

Uno de los principales motivos que nos llevó a poner en marcha este estudio fue el interés por conocer las razones que ocasionan el serio y recurrente problema del bajo rendimiento en Matemática de los estudiantes de Ingeniería. En efecto, a pesar de las diversas investigaciones y medidas que desde hace tiempo están siendo implementadas, el tema de los resultados académicos en esta área de conocimiento es una problemática de suma trascendencia y actualidad, que genera profundas preocupaciones en las autoridades y en los diferentes sectores educativos de países iberoamericanos y de otras regiones occidentales. Si bien, aportar soluciones al problema del bajo rendimiento trasciende el marco estrictamente académico, la realización de "ajustes" desde la órbita de la Educación Superior tiene una relevancia indiscutible, puesto que es uno de los ámbitos naturales para liderar los cambios que lleven a una evolución continua y estrechamente relacionada con los requerimientos del mundo científico y profesional (Closas, 2009).

En esta compleja realidad, dado que el problema responde a diversos factores, muchas veces concatenados, la aplicación de métodos estadísticos multivariantes –como línea de investigación– constituye, desde nuestro punto de vista, un recurso de suma utilidad puesto que hará posible la modelización del fenómeno en cuestión, a partir de la cual podrán reconocerse las causas que lo originan y la posterior formulación de pautas instruccionales que permitan brindar algunas soluciones válidas al tema objeto de estudio. Un hecho de importancia que cabe mencionar es que esta metodología puede ser implementada con independencia de las áreas disciplinares y modalidades de enseñanza, así como de los sistemas y niveles educativos, de manera que la investigación que se plantea posee implícitamente un potencial de aplicación considerablemente amplio en diversos aspectos.

El abordaje del tema será formalizado desde una perspectiva holística, lo que nos posibilitará hacer un enfoque integral de la problemática y, a su vez, ofrecer un panorama unificado del fenómeno que se analiza. En los siguientes apartados nos proponemos dar a conocer ciertos aspectos metodológicos que estimamos relevantes de nuestra propuesta, con la sola intensión de brindar una opción que podría considerarse a la hora de investigar el rendimiento matemático de los estudiantes de Ingeniería.

2. Identificación del estudio

Denominación

- Modelización estadística del rendimiento matemático en estudiantes de Ingeniería

Ámbito científico-técnico de trabajo

- Grupo de Investigación en Tecnología Educativa
  - Equipo Interdisciplinario sobre Análisis Multivariante aplicado a la Investigación Académica

Características del estudio

- Tipo de actividad: Investigación aplicada – Disciplina instrumental: Estadística
- Especialidad: Educación matemática
- Campo de aplicación: Política y planificación educativa

3. Objetivos del estudio, problemas e hipótesis de investigación

El enunciado formal de lo que se aspira lograr mediante el estudio que se propone, es el siguiente:

- Elaborar un modelo jerárquico, ajustado y representativo, de las relaciones que se establecen entre ciertos factores, en especial de aquellos que son propios de los estudiantes de Ingeniería y de su contexto familiar,

social y educativo, que explique de qué manera y en qué medida los mismos se encuentran implicados en los resultados en Matemática.

A efectos de alcanzarlo, se plantean dos objetivos específicos relacionados entre sí y basados en el anterior, que se expresan de la siguiente manera:

1. Identificar qué factores, de los considerados inicialmente que influyen en el rendimiento matemático, participan en la configuración del modelo y cuáles no.
2. Analizar los diferentes modos y niveles de influencia en el rendimiento matemático de los factores que finalmente intervienen en el modelo.

Mientras que, la formulación de los problemas de investigación tanto general como específicos, se indica a continuación:

Problema general de investigación

- ¿Cuáles son los factores y las relaciones que permiten diseñar un modelo adecuado para explicar los resultados académicos en Matemática?

Problemas específicos de investigación

1. De todos los factores medidos originalmente, ¿cuáles son los más importantes para la elaboración de un modelo explicativo de los resultados en Matemática?
2. ¿De qué forma y en qué nivel influyen en los resultados en Matemática, los factores que conforman el modelo final?

Antes de pasar a las hipótesis de investigación, enunciamos los dos siguientes objetivos de aplicación:

1. Realizar un aporte, de empleo en Educación Matemática fundamentalmente, relativo a la forma de modelizar un fenómeno educativo mediante técnicas estadísticas multivariantes.
2. Formular propuestas de intervención, a partir de los resultados obtenidos en el análisis de las causas, que permitan brindar algunas soluciones válidas al problema del bajo rendimiento matemático.

En la construcción de un modelo causal, como el que será propuesto en este trabajo, intervienen en principio una serie de variables observables y latentes mediante las cuales se estudian las relaciones de dependencia e interdependencia vinculadas con los aspectos personales y contextuales de los sujetos que integran la muestra. En atención a ello y a los problemas de investigación presentados, formularemos las hipótesis sustantivas que, por definición, son las respuestas a estos últimos previas al desarrollo del estudio o experimento.
Las hipótesis sustantivas más importantes serán clasificadas en función del problema de investigación al que pretenden dar respuesta, el anuncio de las mismas se realiza en los siguientes términos:

✓ Primer Problema

- H.1. Existen determinadas variables que, si bien poseen niveles de correlación significativos con el rendimiento matemático, son prescindibles en la configuración del modelo.

✓ Segundo Problema

- H.2. La influencia en el rendimiento matemático que ejercen las variables que participan del modelo se realiza atendiendo a diferentes formas y niveles.
  - H.2.1. Los factores familiares y sociales inciden significativamente en los aspectos aptitudinales y de personalidad del individuo (1° nivel de influencia).
  - H.2.2. Algunos aspectos aptitudinales y de personalidad, modelados por la acción familiar y social, junto con los educativos, influyen significativamente en las actitudes del sujeto hacia el aprendizaje y el estudio (2° nivel de influencia).
  - H.2.3. Ciertas actitudes hacia el aprendizaje y el estudio, al igual que las aptitudes y la personalidad, determinan de manera significativa la adopción de conductas y la adquisición de habilidades (3° nivel de influencia).
  - H.2.4. Determinada adopción de conductas y adquisición de habilidades, así como las aptitudes y la personalidad, afectan significativamente el nivel de los resultados educativos (4° nivel de influencia).

4. Etapas de la investigación

Una síntesis de las distintas cuestiones que está previsto abordar en esta investigación de estructura clásica, se detalla a continuación.

1ª Parte: Análisis teórico

1.	Problemática y planteamiento del estudio: a) Introducción, b) Antecedentes en el tema objeto de estudio, c) Formulación de objetivos generales y de aplicación.
2.	El rendimiento en Matemática: a) Introducción, b) Definiciones e indicadores, c) Factores asociados con el rendimiento matemático, d) Algunas investigaciones análogas a la presente.

3.	Propuesta inicial del modelo: a) Introducción, b) Aspectos diversos de los modelos de ecuaciones estructurales, c) Representación teórica del rendimiento académico en Matemática.

2ª Parte: Análisis empírico

1.	Plan general y proceso de investigación: a) Problema de investigación (enunciación de objetivos y problemas generales y específicos), b) Hipótesis de investigación, c) Operacionalización y estudios psicométricos.
2.	Metodología científica de investigación: a) Diseño, b) Población y muestra, c) Instrumentos de medición, d) Trabajo de campo.
3.	Análisis de datos: Se especifican los métodos estadísticos que se utilizarán para analizar los datos, en las fases previa y confirmatoria.
4.	Resultados: a) Se realizan los análisis estadísticos iniciales y se describen los resultados obtenidos, b) Mediante el análisis de ecuaciones estructurales, se contrasta empíricamente el modelo propuesto y ciertos resultados logrados en los análisis precedentes.
5.	Discusión de resultados y conclusiones: a) Se confrontan las hipótesis de investigación oportunamente enunciadas, b) Se formulan algunas apreciaciones finales, c) Se presentan propuestas universales de solución a la problemática, d) Se expone la conclusión general.

5. Mayores detalles sobre algunos aspectos de la metodología de investigación

5.1. Diseño

Asumiendo que para la elaboración de un modelo de efectos se requieren no sólo diferentes variables sino también distintas metodologías de estudio, se ilustra en la Tabla 1, el diseño que caracterizará a nuestra propuesta de investigación.

Tabla 1. Diseño de investigación

Criterios	Métodos
Según el objetivo de lo que se pretende estudiar	No experimental y explicativo
Por el tipo de información y la forma de recogerla	Descriptivo y encuesta
En atención al instrumento, al marco de recolección de los datos y a la forma en que éstos se analizan	Cuestionario, de campo y cuantitativa
Según la temporalización	Transversal
Por la falta de manipulación de las variables y la manera en que las mismas se relacionan	Correlacional y mediacional

5.2. Muestra

El estudio será efectuado utilizando una muestra conformada por alrededor de 400 alumnos pertenecientes al Seminario Universitario y a primer año de las carreras de Ingeniería que se imparten en la Facultad Regional Resistencia de la Universidad Tecnológica Nacional, Argentina. Se estima que los estudiantes tendrán una edad promedio de 19 años y una desviación estándar aproximada de 2. En su elección emplearemos el muestreo estratificado, los turnos de clase (mañana, tarde, noche) representarán los estratos, mientras que la unidad muestral estará conformaba por una entidad con definida personalidad como es el grupo-clase o comisión de estudio (6 comisiones, 2 en cada turno, las cuales representan el 67% del total).

5.3. Procedimiento de recolección y análisis de datos

El proceso que se implementará a efectos de recoger la información se llevará a cabo en distintas instancias. En cada una de estas ocasiones la aplicación se realizará dentro del aula y en el horario de clase habitual que los estudiantes tienen asignado para el cursado de las asignaturas del área de Matemática, siempre con el margen de tiempo (en promedio 20 minutos, aunque ello naturalmente dependerá de las normas de aplicación de cada prue-

ba) que permita a los alumnos contestar a los diversos instrumentos que les serán entregados de la manera más adecuada posible. Se estima que el período necesario para recoger los datos se extenderá alrededor de dos meses (abril y mayo de 2011). Este intervalo es necesario dado que el proceso de aplicación de los tests y cuestionarios debe realizarse bajo circunstancias que garanticen un ambiente óptimo de trabajo (en cada grupo-clase las pruebas serán impartidas por los propios profesores, no más de una por semana y en el comienzo o al final de la clase) y al mismo tiempo no afecte mayormente el normal dictado de la asignatura.
Luego de recolectar los datos, el paso siguiente será la implementación del proceso de análisis de los mismos. En la Tabla 2, se indica una síntesis de las fases y de los métodos que serán utilizados en el mencionado proceso. Las distintas estimaciones que se efectuarán y la aplicación de las diversas técnicas estadísticas se realizarán con ayuda de los programas SPSS 15.0 y EQS 6.1 (Bentler, 2004).

Tabla 2. Fases y métodos estadísticos aplicados en el estudio

Fases	Métodos
• Estudios psicométricos	Análisis de validez y fiabilidad.
• Estudios previos	Análisis descriptivos, correlacionales, de regresión, de varianza, factorial exploratorio.
• Estudios confirmatorios	Modelos de ecuaciones estructurales.

5.4. Variables explicativas

La lectura y análisis de la bibliografía especializada en el tema objeto de estudio nos permitió identificar las variables que, según nuestra apreciación, explican y modulan de manera significativa el rendimiento en Matemática (variable criterio que será medida a través del promedio de las calificaciones en el área). Las mismas agrupas en dos bloques (uno relacionado con el sujeto y otro con el ambiente) se recogen en la Figura 1.

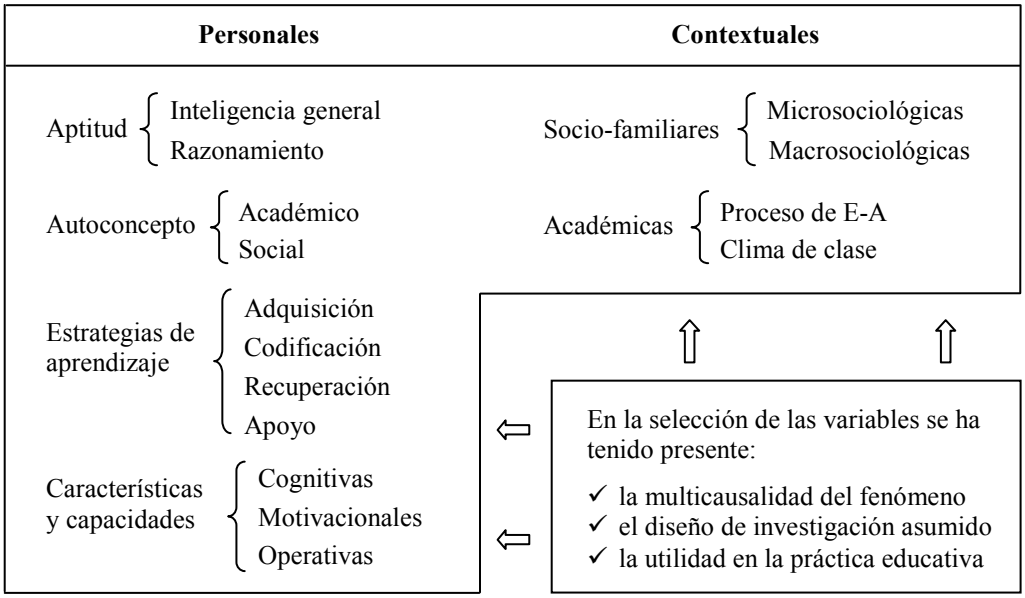

Figura 1. Variables explicativas del rendimiento en Matemática

5.4. Instrumentos de medida

Los instrumentos de medición que se utilizarán para recoger de forma integral los principales núcleos de influencia –personales y contextuales– que subyacen al rendimiento matemático de los estudiantes de Ingeniería, serán de dos tipos: estandarizados y originales. Los primeros se emplearán para evaluar las variables *Estrategias de aprendizaje*, *Aptitud*, *Autoconcepto* y *Proceso de E-A*; mientras que los segundos fueron crearon para medir las *Características cognitivas y motivacionales*, las *Capacidades operativas*, los *Aspectos socio-familiares* y el *Clima de clase*. Los cuestionarios ad hoc fueron diseñados –en base a experiencias propias y sugerencias brindadas por otros profesores– con el propósito de complementar los estandarizados, así como para completar la batería de pruebas necesaria que permita medir la totalidad de las variables que, se presume, participan de manera directa o indirecta en los niveles de logro matemático.

Se resume a continuación el conjunto de instrumentos de medida que, si bien puede presentar algunas limitaciones, creemos que serán apropiados para recoger de forma integral los principales núcleos de influencia, personales y contextuales, que subyacen al rendimiento matemático de los estudiantes de Ingeniería.

Estandarizados

- Estrategias de aprendizaje
  ACRA (Adquisición, Codificación, Recuperación, Apoyo) de TEA Ediciones, S.A., escalas elaboradas por Román y Gallego (1994).
- Aptitudes
  a) Dominó D–48, test creado por Anstey (1999), adaptado en Francia por P. Pichot para el Centro de Psicología Aplicada de París y en España por el Dpto. I+D de TEA Ediciones, S.A.
  b) RP–30 (Resolución de Problemas–30) de TEA Ediciones, S.A., tests elaborado por Seisdedos (2002).
- Autoconcepto
  AF–5 (Autoconcepto Forma–5) de TEA Ediciones, S.A., escalas elaboradas por García y Musitu (2001).
- Proceso de Enseñanza Aprendizaje
  EIPEA (Evaluación Interactiva del Proceso de Enseñanza–Aprendizaje), escalas editadas por EOS y elaboradas por De la Fuente y Martínez (2004).

Originales

- Características y capacidades
  a) Cognitivas: Competencia en lectura comprensiva, Análisis de las características de la tarea, Persistencia ante las tareas académicas, Percepción de los sistemas de evaluación.
  b) Motivacionales: Autoconcepto de área, Capacidad intelectual percibida, Rendimiento anterior.
  c) Operativas: Valor numérico de una expresión algebraica, Operaciones con expresiones algebraicas, Productos y cocientes notables, Descomposición factorial, Operaciones con fracciones algebraicas, Ecuaciones de primer grado, Problemas de ecuaciones de primer grado.
- Socio-familiares
  a) Microsociológicas: Clima educativo familiar (Interés de la familia por la formación de sus hijos, Ambiente afectivo familiar, Expectativas que los padres tienen puestas en el sujeto), Estructura familiar (Número de miembros que componen la familia, Lugar que ocupa el individuo en la fratría).
  b) Macrosociológicas: Clase social de procedencia (Profesión, Nivel social, Ingresos económicos de los padres), Características socio-ambientales (Ambiente y medios socio-culturales con que cuenta el sujeto, Características de la población de residencia).
- Académicas
  Factores del clima de clase (Estilo de enseñanza, Expectativas del profesor, Relaciones interpersonales).

6. Aspectos generales que se esperan lograr

En primer lugar debemos señalar que a partir de la selección de las variables indicadas en la Figura 1, se elaboró un modelo teórico, jerárquico e integral, a través del cual se pretende inicialmente explicar la varianza del problema que se investiga (véase Figura 2). La representación en cuestión, ya en la etapa empírica, será sometida a contraste mediante la técnica de ecuaciones estructurales[1] (en la fase correspondiente a los estudios confirmatorios), por ese motivo el modelo gráfico y su formulación matemática se encuentran representados siguiendo la notación planteada por Bentler y Weeks (1980). Ahora bien, teniendo en cuenta la metodología que se utilizará, así como los antecedentes de otros estudios similares (Closas, 2009), se estima que como consecuencia de la puesta en marcha de esta investigación será posible obtener los siguientes efectos:

1. Un modelo que represente en forma sencilla la compleja realidad educativa de la Matemática, que pueda ser validado desde la perspectiva de las ecuaciones estructurales.
2. Que la mayoría de las variables explicativas –en razón de las características que éstas poseen– que participen finalmente en el modelo sean plausibles de intervención educativa.
3. Un conjunto de procedimientos que podrían ser aplicados tanto en caso de diagnóstico como de prevención del bajo rendimiento.
4. Conclusiones que serían de utilidad a los especialistas en educación y psicología para tratar un preocupante y recurrente problema, así como para la posterior toma estratégica de decisiones.
5. Información que podría servir de referencia a futuros estudios que se lleven a cabo en esta línea de trabajo, incluso aquellos que se realicen en otras asignaturas y en otros niveles de enseñanza.

[1] Se trata de un método práctico de formular y comprobar modelos, tanto gráficos como algebraicos, que describen relaciones entre variables. Esta técnica de análisis multivariante extiende las ideas de correlación y regresión en el sentido de admitir en el estudio redes complejas de variables interconectadas, en lugar de efectuar una separación artificial de éstas en dependientes e independientes.

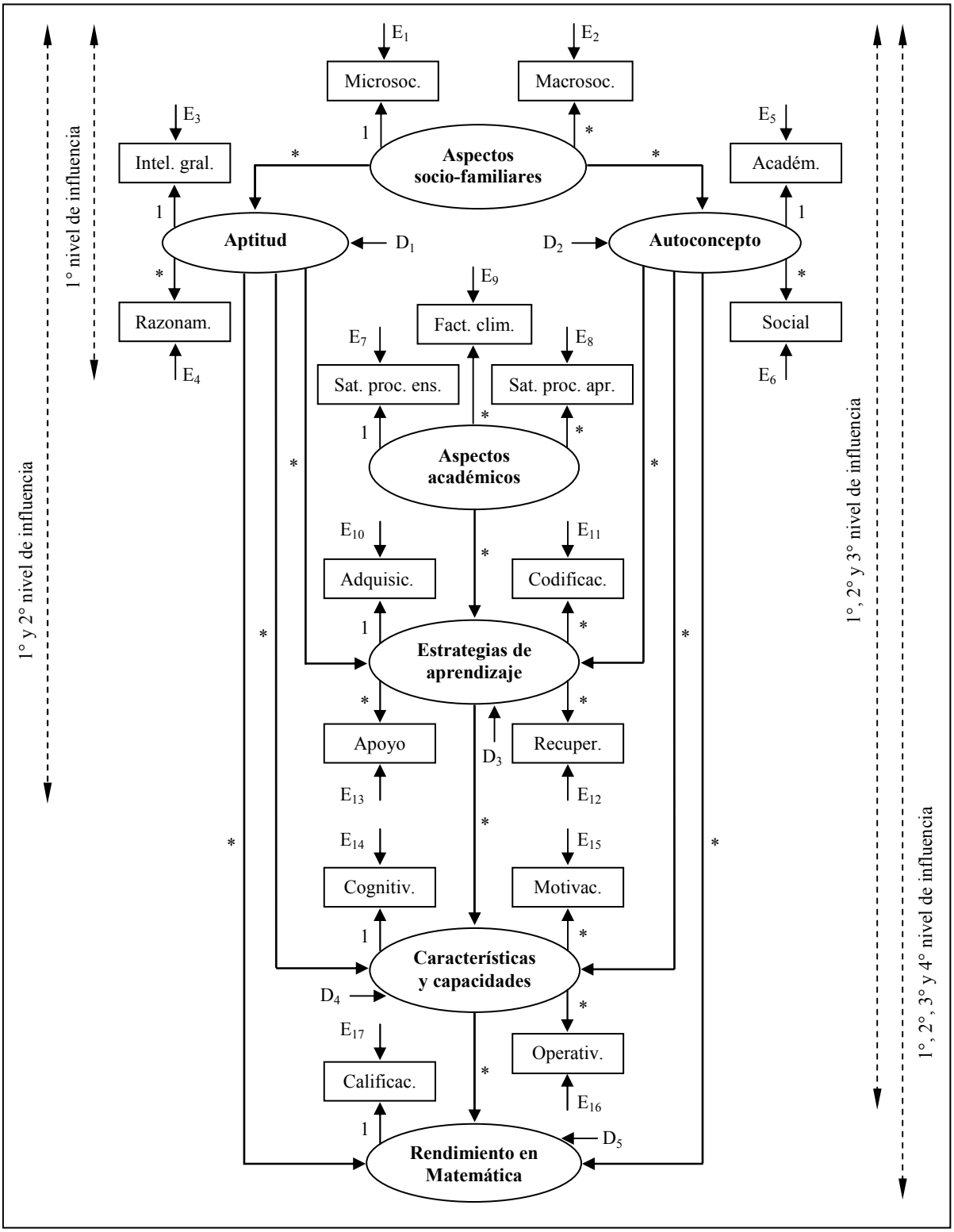

Figura 2. Modelo explicativo inicial del rendimiento en Matemática

Para una mejor lectura de la formulación matemática del modelo, detallaremos previamente (ver Tabla 3) la equivalencia entre las identificaciones que utilizamos en la Figura 2 y la notación que emplearemos en las ecuaciones que plantean las distintas relaciones entre las variables (observadas y latentes) que intervienen.
Asimismo, se exponen en la Tabla 4 otros elementos, propios de la notación adoptada, que han participado en la representación gráfica del modelo y que consideramos de interés explicitarlas dado que es en la que se basa el programa EQS.

Tabla 3. Variables incluidas en el modelo inicial propuesto

Variables observadas	Variables latentes
V_1 = Microsoc. V_2 = Macrosoc.	F_1 = Aspectos socio-familiares
V_3 = Intel. gral. V_4 = Razonam.	F_2 = Aptitud
V_5 = Académ. V_6 = Social	F_3 = Autoconcepto
V_7 = Sat. proc. ens. V_8 = Sat. proc. apr. V_9 = Fact. clim.	F_4 = Aspectos académicos
V_{10} = Adquisic. V_{11} = Codific. V_{12} = Recuper. V_{13} = Apoyo	F_5 = Estrategias de aprendizaje
V_{14} = Cognitiv. V_{15} = Motivac. V_{16} = Operativ.	F_6 = Características y capacidades
V_{17} = Calificac.	F_7 = Rendimiento en Matemática

Tabla 4. Información complementaria utilizada en el modelo

Términos de error	En variables observadas: $E_1, \ldots, E_{17}$ En variables latentes: $D_1, \ldots, D_5$
Variables	Independientes: $F_1, F_4; E_1, \ldots, E_{17}; D_1, \ldots, D_5$ Dependientes: $V_1, \ldots, V_{17}; F_2, F_3, F_5, F_6, F_7$

En las ecuaciones que a continuación se formulan, a efectos de establecer una escala para las variables latentes, como puede verse en la Figura 2, se ha fijado a 1 la carga factorial entre una de las variables observadas y el factor correspondiente (V_1 y F_1, V_3 y F_2, V_5 y F_3, V_7 y F_4, V_{10} y F_5, V_{14} y F_6, V_{17} y F_7). A su vez, los coeficientes de regresión de las variables observadas y de los factores dependientes respecto a los términos de error se han fijado arbitrariamente a 1. Si denotamos con un asterisco los parámetros que serán estimados, la representación algebraica del modelo inicial propuesto es la siguiente.

Componente de medida	$V_1 = F_1 + E_1$	$V_2 = {*}F_1 + E_2$		
	$V_3 = F_2 + E_3$	$V_4 = {*}F_2 + E_4$		
	$V_5 = F_3 + E_5$	$V_6 = {*}F_3 + E_6$		
	$V_7 = F_4 + E_7$	$V_8 = {*}F_4 + E_8$	$V_9 = {*}F_4 + E_9$	
	$V_{10} = F_5 + E_{10}$	$V_{11} = {*}F_5 + E_{11}$	$V_{12} = {*}F_5 + E_{12}$	$V_{13} = {*}F_5 + E_{13}$
	$V_{14} = F_6 + E_{14}$	$V_{15} = {*}F_6 + E_{15}$	$V_{16} = {*}F_6 + E_{16}$	
	$V_{17} = F_7 + E_{17}$			
Componente estructural	$F_2 = {*}F_1 + D_1$			
	$F_3 = {*}F_1 + D_2$			
	$F_5 = {*}F_2 + {*}F_3 + {*}F_4 + D_3$			
	$F_6 = {*}F_2 + {*}F_3 + {*}F_5 + D_4$			
	$F_7 = {*}F_2 + {*}F_3 + {*}F_6 + D_5$			

Finalmente, más allá de las limitaciones de recursos físicos, materiales y humanos que toda investigación lleva consigo, esperamos que esta propuesta para el estudio del rendimiento en Matemática pueda aportar algo más de luz a la compleja realidad que este tema presenta. Si bien, no es posible por el momento realizar precisiones respecto de las variables predictoras y de la manera que finalmente participarán en la configuración del modelo, creemos que algunas de las cuestiones aquí tratadas, dada la funcionalidad y versatilidad que poseen, pueden ser consideradas y proyectadas, quizás con las necesarias adaptaciones que el marco social, cultural y económico demande, a nuevos escenarios del ámbito académico e institucional.

7. Bibliografía

Anstey, E. (1999). *Dominó D-48. Manual* (12a. ed.). Madrid: TEA.

Bentler, P. (2004). *EQS Structural equations program manual*. Encino, CA: Multivariate Software.

Bentler, P. y Weeks, D. (1980). Linear structural equations with latent variables. *Psychometrika, 45,* 289-308.

Closas, A. H. (2009). *Modelización estadística del rendimiento matemático con variables psicoeducativas en estudiantes universitarios*. Tesis doctoral, Universidad Pública de Navarra, España.

De la Fuente, J. y Martínez, J. M. (2004). *Escalas para la Evaluación Interactiva del Proceso de Enseñanza-Aprendizaje, EIPEA*. Madrid: EOS.

García, F. y Musitu, G. (2001). *AF5. Autoconcepto Forma 5.* Madrid: TEA.

Román, J. M. y Gallego, S. (1994). *Escalas de Estrategias de Aprendizaje, ACRA.* Madrid: TEA.

Seisdedos, N. (2002). *RP-30. Resolución de Problemas. Manual.* Madrid: TEA.