

MODELOS JERÁRQUICOS LINEALES Y SU APLICACIÓN EN LA INVESTIGACIÓN EDUCATIVA UNIVERSITARIA

Raziel Acevedo Álvarez

Introducción

Los modelos jerárquicos lineales son una metodología compleja ubicada dentro de los procedimientos más novedosos de la estadística, para el estudio de los problemas de investigación que involucren una amplia gama de variables individuales y contextuales, ordenadas jerárquicamente de acuerdo con la teoría tratada (Acevedo, 2005)

En este sentido, la metodología estudia los fenómenos sociales a partir de estructuras anidadas o multinivel. Es decir, se fundamentan en el pensamiento de que todas las manifestaciones sociales o problemas de investigación están conformados por diversos niveles o jerarquías, ordenadas de diferentes formas y de acuerdo con los intereses del investigador; por ejemplo: un modelo en dos niveles puede representar a pacientes en clínicas, donde los pacientes serían el primer nivel y las clínicas, el segundo nivel. Otro modelo, se conformaría de votantes en cantones y estos a su vez en provincias. Aquí impera un modelo de tres niveles: votante el primer nivel, cantones el segundo y las provincias el tercer nivel.

Ahora bien, cuando estas estructuras son aplicadas directamente en el campo de estudio ofrecen la oportunidad de conocer y analizar en profundidad las características integradoras de los niveles, el efecto entre ellas y, sobre todo, sus residuales; ellas aproximan al investigador al fenómeno de investigación desde múltiples perspectivas, abriendo con ello, un panorama muy amplio del objeto estudiado: un hecho importante, pero imposible para otras metodologías y técnicas estadísticas. Quizás, ahí descansa su mayor aporte e importancia de aplicación en el campo de la investigación social, porque las estructuras sociales o humanas son muy complejas, con múltiples características y estratos. Con esa estructura tan compleja, es imposible realizar un análisis riguroso utilizando las técnicas estadísticas tradicionales.

Aplicados a la educación universitaria, posibilitan una serie de estimaciones estadísticas que solamente son posibles con este tipo de metodología, pues con las técnicas tradicionales podríamos presentar análisis con errores que solamente pueden ser captados con los modelos jerárquicos lineales. Un investigador no puede considerar o analizar las diferencias en la implementación de un tratamiento sin estudiar las características de los sujetos y su contexto, porque sin su contexto le será difícil considerar

algún tratamiento específico que permita implementar una mejora en las actividades de los sujetos.

De la metodología

Esta es una metodología de investigación cuantitativa, fundamentada en la idea de que considerables grupos de datos, incluyendo los datos de observación recogidos en las ciencias humanas y biológicas, tienen una estructura jerárquica o multinivel (Bryk y Raudenbush, 1992; Plewis, 1997, 1998).

Para entender la lógica de ésta propuesta, imaginemos nuestra sociedad agrupada en niveles jerárquicos; por ejemplo, un individuo pertenece a un barrio, ese barrio a un pueblo, ese pueblo a una provincia, esa provincia a una comunidad autónoma y así sucesivamente la sociedad se va edificando sobre diferentes niveles jerárquicos o multinivel. Dichas agrupaciones se ordenan desde lo individual hasta lo colectivo, permaneciendo los primeros con todas sus características, e inmersos en el contexto y las actividades de los segundos.

Pensando en organizaciones jerárquicas, podemos distinguir innumerables estructuras en los datos utilizados por las ramas del saber. Por ejemplo, en medicina se pueden organizar los datos por pacientes en clínicas y éstos en hospitales. En economía encontramos agrupaciones de ingreso por empresas, provincias o ingreso de las agrupaciones gremiales por lugares u otros.

Por ejemplo, Ting (2001) ofrece una estructura en dos niveles: los estudiantes anidados en las instituciones educativas; Acevedo y Mairena (2007) exponen un modelo en tres niveles: instrumento de evaluación en el primer nivel, estudiantes en el segundo y profesores en el tercero.

II.1. Surgimiento

Estos modelos aparecen a inicios de los años 70, como una nueva clase de estudios denominada *investigación multinivel*, la cual supone una estructura jerárquica en los datos de determinada población. Durante esa década, se sientan las bases de la metodología con el surgimiento de diversos textos y aproximaciones teóricas referentes a las estructuras jerárquicas de los datos en las ciencias sociales. No obstante, el punto culminante de todo este desarrollo, según Bryk y Raudenbush (1992) llega a ser esquematizado de forma muy significativa en los trabajos de Lindley y Smith (1972) y Smith (1973), con la formulación de un modelo general para tratar los datos con estructura jerárquica lineal. El trabajo de estos investigadores desarrolla un marco general para datos anidados con una estructura compleja de error, lo cual es un gran avance para el fortalecimiento de la metodología.

Ahora bien, aunque la aportación de Lindley y Smith (1972) fue un hecho muy relevante, el estudio y el ajuste de estos modelos no fue operable durante esos años, debido principalmente a las herramientas básicas de cálculo utilizadas en las computadoras de la época, que no podían ejecutar las complicadas estimaciones requeridas por la metodología. Por esa razón, hubo que esperar unos años para que se desarrollaran mejores computadoras que hicieran operable la propuesta matemática.

II.2. Campos de aplicación

En la actualidad, una gran cantidad de ramas del saber utilizan las estructuras anidadas o multinivel para el desarrollo y análisis de sus estudios, pues ellas son típicas en muchas ciencias, incluidas las ciencias sociales. Este amplio margen brinda un campo muy basto para su aplicación en las áreas más variadas, por ejemplo: educación, psicología, economía, sociología y medicina, entre otros. Cada vez más, la metodología se difunde con mayor fuerza y en estos momentos existe una gran cantidad de campos del saber que la utilizan para sus investigaciones y estudios.

De los diferentes campos de aplicación, el sistema escolar es el más claro ejemplo de estructuras jerárquicas, con estudiantes agrupados en escuelas y estos en autoridades de educación. Dentro de estos sistemas educativos, Gaviria, Martínez y Castro (1997) destacan diferentes estudios:

- a) aquellos que se analizan bajo la etiqueta genérica de calidad de los centros educativos, los datos obtenidos de las muestras de estudiantes, profesores, etc. y en la mayor parte de los casos se obtienen mediante muestreo por conglomerados, como unidades de muestreo, que son agrupaciones naturales de individuos;
- b) los estudios sobre la eficacia de la educación en determinadas áreas geográficas (p.e. en los estudios transculturales) y del sistema educativo, en general, que se basan en datos obtenidos de variables organizadas en diversos niveles de agregación: estudiantes, clases, centros escolares, distritos, regiones, países, etc., que deben integrarse y combinarse en un modelo único;
- c) en las evaluaciones de muchas intervenciones educativas y sociosanitarias, los datos suelen tratarse de forma agregada, tanto en los diseños clásicos pre/pos test, como en los de series temporales interrumpidas utilizando promedios de los grupos, a la hora de obtener estos promedios, el evaluador encuentra numerosos problemas derivados de las peculiaridades de los datos: líneas de base inestables, enorme variabilidad

intragrupo, necesidad de obtener el mismo número de medidas para todos los sujetos, etc; las sucesivas medidas con las que se va registrando el cambio de los sujetos, están anidadas dentro de éstos y constituirían un primer nivel de análisis;

- d) situaciones genéricamente encuadradas bajo la etiqueta de medida del cambio, que dan lugar a modelos de curvas de desarrollo, donde uno de los mayores problemas es el de las diferencias individuales, este ha sido uno de los temas más debatidos en la metodología de las ciencias del comportamiento.

Esta metodología se puede utilizar en la asignación de pacientes a diversas clínicas, a la organización de un padrón electoral, cuya distribución se ordena por barrios, pueblos y ciudades, o en estudios económicos, fundamentados en el ingreso *per cápita* por ocupación profesional o actividad económica de la persona, su barrio y provincias. Otra posibilidad de aplicación puede ser en experimentos o ensayos clínicos realizados en varios centros con grupos de individuos elegidos aleatoriamente, ordenados por hospitales. También, se puede incluir en estudios políticos relacionados con la influencia que ejercen los medios de comunicación masiva en el electorado.

II.3. Necesidad de aplicación

El empleo de la metodología multinivel ofrece a los investigadores cuantitativos la oportunidad de conocer la realidad de estudio por nivel y entre niveles, permitiendo con ello, una mayor profundidad en el análisis del objeto de estudio (Acevedo, 2005). Dicho de otra forma, se observa y analiza el comportamiento de las variables que integran el fenómeno de estudio, en forma individual, colectiva y cruzada, y se hace uso de las características de todas las variables en sus diferentes niveles (micro y macro), lo cual distingue plenamente las particularidades de los sujetos y los elementos contextuales donde se desarrollan.

Utilizar estructuras jerárquicas en las comunidades educativas y en otros sistemas, posibilita el análisis de los datos desde diferentes perspectivas; por estudiante, por la suma de sus efectos individuales, por clase, por escuela, por distrito o por estado. Cada uno de estos efectos es observable desde diferentes ángulos y son una colección de los múltiples efectos que produce el contexto y los individuos.

Además, los modelos multinivel cuentan con herramientas muy precisas que permiten el análisis cruzado, entre variables de nivel micro (individual) y macro (contextual), una característica única y fundamental de la metodología e imposible para las técnicas estadísticas tradicionales

La diferencia es notable y es su mayor logro. De ahí la importancia de su utilización y aplicación en las diferentes ramas del saber.

Aplicación empírica

La aplicación empírica cuenta con una muestra de 12319 estudiantes y 260 profesores. Fue proporcionada por el Centro de Evaluación Académica, de la evaluación realizada a los (as) profesores (as) en las distintas unidades de la Universidad de Costa Rica en el año 2009. De esta muestra, el modelo jerárquico se estructura de la siguiente forma: estudiantes, en el primer nivel, cuyas características son: edad, género, carrera, facultad, interés. En el segundo nivel, se encuentran los profesores, agrupados por: edad, facultad, género, estatus universitario, tipo de nombramiento, valoración del jefe, años en la universidad, grado, categoría profesional, edad.

El modelo se puede representar:

$$Y_{ij} = \beta_{00} + u_{0j} + e_{ij}$$

Donde:

Y_i corresponde a la variable dependiente, o sea, la nota dada por el sujeto i al profesor de la clase j .

β_{00} identifica la gran media general de la nota obtenida por los profesores entre las clases.

u_{0j} es el residuo o varianza residual de segundo nivel (la clase-profesor) y representa la desviación entre la media de las clases; las diferencias de estimación entre la predicción y el valor real.

e_{ij} hace referencia a la varianza residual del primer nivel: los estudiantes.

El primero de los coeficientes el β_{00} es llamado la parte fija del modelo. Los otros dos coeficientes, u_{0j} y e_{ij} representan las varianzas residuales denominada

la parte aleatoria del modelo. Como se deduce, la ecuación de regresión del modelo nulo ofrece información sobre dos elementos, la parte fija y la aleatoria en la estructura jerárquica de los datos.

En la parte aleatoria del modelo sólo están las varianzas de los residuales. Los residuales no son parámetros del modelo, pero sus varianzas sí. Los residuales son las diferencias entre el valor que toma la variable dependiente para una unidad y lo que el modelo predice para esa misma unidad (sujeto o escuela). Hay tantos residuales de nivel uno como sujetos y tantos residuales de nivel dos como clases, pero esos no son parámetros, los parámetros son sus varianzas.

III.1. Modelo nulo

Con los datos organizados jerárquicamente se procede a elaborar el modelo nulo en dos niveles, donde los estudiantes son el primer nivel y profesores – clase el segundo. La estimación puede verse en el siguiente gráfico Gráfico N.º 1.

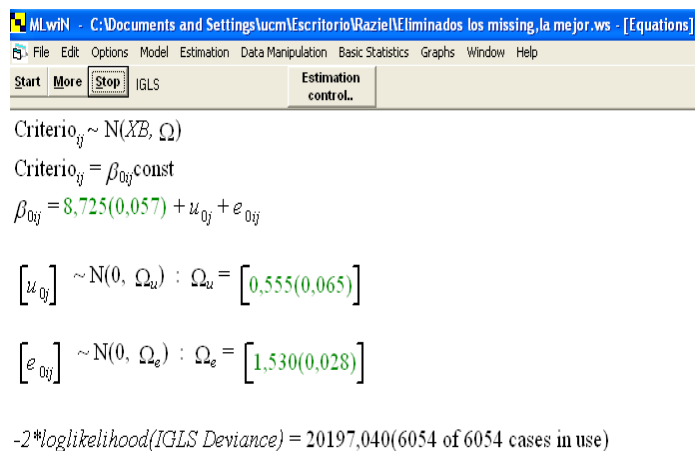


Gráfico N.º 1. Modelo Nulo

El gráfico anterior ofrece varios tipos de información. Primero $\beta_0 = 8.725$ y $Sd = (0.057)$, indica la media obtenida por todos los profesores 8,72 puntos de 10 puntos posibles.

Pero, ¿es significativo ese valor? Para conocer la significación estadística de esos valores, se realiza la siguiente operación $\frac{\hat{\beta}_{0j}}{sd} = \frac{8.725}{0.057} = 153.07$. El producto debe ser (mayor o igual) a dos, como se observa el resultado es de 153.07, un valor mayor a dos, ello demuestra que es significativo y existe suficiente varianza entre esos datos.

Segundo, se observan dos datos más: $\beta_1 = 0.555 (0.065)$ y $\beta_2 = 1.530 (0.028)$, o sea los residuales. Nuevamente, se necesita saber si los datos de segundo y primer nivel son significativos, por tanto, se realiza en mismo procedimiento de dividir los coeficientes. En primer nivel, $1.530 / 0.028 = 54.64$ y en el segundo nivel $0.555/0.065=8.538$. Los dos resultados muestran valores superiores a dos, indicando que son significativos, demostrando que los datos ajustan al modelo y se puede proceder a desarrollar modelos más complejos.

Para determinar el ajuste del modelo, se compara el logaritmo de máxima verosimilitud del modelo nulo, con el modelo final, que muestra diferencias significativas en los datos. En este primer caso el logaritmo es 20197,040.

III.2. Elaboración del modelo con variables contextuales

Se construye un modelo con las variables de segundo nivel, o sea, género del profesor, tipo de nombramiento, grado académico, categoría en régimen académico y tipo de departamento en el que trabaja el(la) docente. La estimación puede verse en el siguiente gráfico.

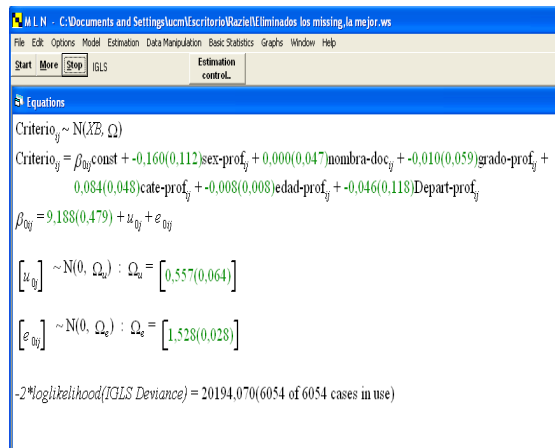


Gráfico 2: Modelo con variables de Nivel Dos

El primer elemento a considerar, como siempre, es la significatividad de las estimaciones, dividiendo el primer valor entre el segundo y el resultado ha de ser superior a dos.

La estimación inicial corresponde a la media general $\beta_0 = 9.188$ y $Sd = (0.479)$ o sea $\frac{9.188}{0.479} = 181.62$ el valor es muy significativo. Es más, se incrementa con la introducción de las variables contextuales del profesor, pues en el modelo nulo la media era ocho y ahora es nueve.

A continuación, se estudian las otras variables como: sexo del profesor $\frac{-0.160}{0.112} = 1.42$; tipo de nombramiento del profesor $\frac{0.000}{0.047} = 0$; grado académico $\frac{-0.010}{0.059} = 1.69$; categoría en régimen académico $\frac{0.084}{0.048} = 1.75$; edad $\frac{-0.008}{0.008} = 1$; tipo de departamento de pertenencia $\frac{-0.046}{0.118} = 0.389$.

El producto de todas las operaciones realizadas a las estimaciones de las variables es inferior a dos, lo que indica por una parte que estos valores no son significativos y por otra, el instrumento aplicado por el Centro de Evaluación Académica (CEA) no es afectado por esas variables, lo cual demuestra su validez, debido a que las variables contextuales de los pro-

fesores no ejercen ninguna influencia en la valoración que hacen los estudiantes de su trabajo. Al no ser significativas estas variables deben ser desechadas del modelo, pues no aportan ningún tipo de información al no demostrarse la varianza de estas.

Ahora se debe continuar con la introducción de las variables de nivel uno, el género, la edad y la situación laboral de los (as) estudiantes. Las estimaciones se encuentran en el gráfico siguiente Gráfico N.º 3.

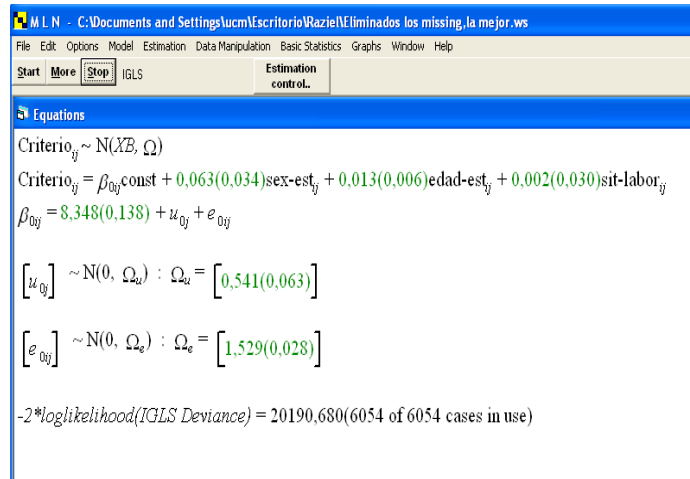


Gráfico N.º 3: Modelo con variables de Nivel Uno

Igual que en el apartado anterior el primer paso consiste en revisar la significatividad de todos los valores obtenidos en la estimación, como elemento inicial la media general es $\frac{8.348}{0.138} = 60.42$, o sea, que vuelve a ser un valor altamente significativo, debido a que 60.42 es un valor superior a 2.

Demostrada la significatividad de β₀, se observan las variables de primer nivel, sexo del estudiante $\frac{0.063}{0.034} = 1.852$ y su situación laboral $\frac{0.002}{0.030} = 0.066$, evidentemente, los resultados aportados por la división de los coeficientes para determinar su significatividad, es inferior a dos, por

tanto, no alcanza el nivel de significación suficiente como para ser incluidas en el modelo. Pero, analizando la edad del estudiante $\frac{0.013}{0.006} = 2.16$ se obtiene un valor superior a dos, por ello, esta variable debe continuar en el modelo, para determinar su grado de asociación con la evaluación docente.

Una vez excluidas del modelo las variables no significativas, se procede a estimar solamente la variable edad del estudiante. Estos datos se observan a continuación.

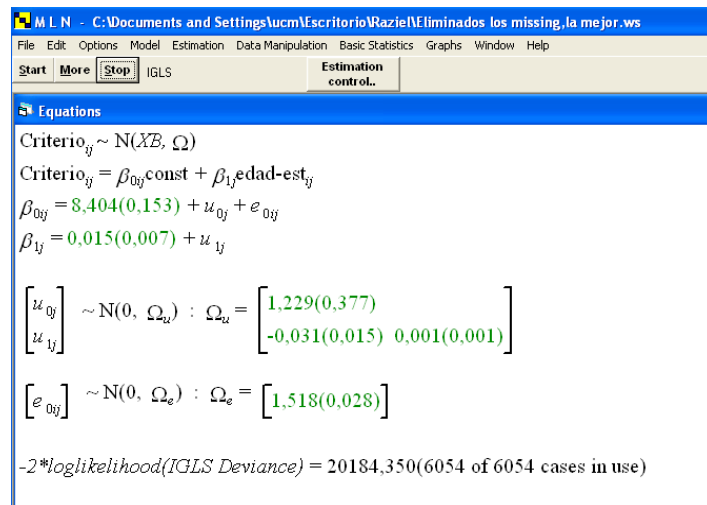


Gráfico N.º 4: Modelo con la variable edad en el Nivel Uno

Estimado el nuevo modelo, la variable edad del estudiante resulta significativa, dado $\frac{\hat{\beta}_{1j}}{sd} = \frac{0.015}{0.007} = 2.14$ se obtiene un producto superior a dos. Esto demuestra, la edad de los estudiantes tiene asociación con la evaluación de los profesores, pues cuando el estudiante tiene alrededor de 18 años, en la muestra esa es la edad mínima del (a) estudiante, su evaluación se incrementa 0.015 más por cada año de estudio en la Universidad. O sea, a mayor edad mayor valoración del profesor.

Aunque el valor de β_1 es 0.015 es significativo y positivo, se observa una tercera estimación significativa, pero negativa en la covarianza $\frac{b_{12}}{sd} = \frac{-0.031}{0.015} = -2.06$. Este valor de -0.031 expresa que esta asociación actúa como estabilizador en la estimación, dado que cuando los estudiantes menores valoran muy alto a sus profesores, los estudiantes de mayor edad lo hacen un poco bajo y viceversa, cuando los estudiantes de menor edad bajan la calificación del profesor, los estudiantes de mayor edad incrementan su valoración respecto a éste.

Para estudiar la diferencia entre ambos modelos (nulo y final), es necesario tomar el valor obtenido en el modelo nulo ($-2 * \loglikelihood$ es de 20197,040) y la razón de verosimilitud del modelo final en dos niveles ($-2 * \loglikelihood = 20184.35$).

Luego se resta el segundo al primero:

$$20197.040 - 20184.35 = 12.69$$

El producto de la resta de ambos estimadores es 12.69. Este resultado demuestra que el nuevo modelo ha reducido el valor estadístico de ajuste. El producto anterior puede ser considerado un valor de ji cuadrado con seis grados de libertad, o sea, los parámetros incluidos en el modelo bajo la hipótesis nula de que los parámetros extras tienen un valor de población de cero. Si tomamos este número y realizamos la estimación de ji cuadrado correspondiente, se obtiene un resultado de 0.02664, un valor totalmente significativo. Ello permite concluir que el modelo propuesto en dos niveles se ajusta mejor a los datos que el modelo nulo, por tanto, es superior su consistencia, ofreciendo información confiable y significativa para el análisis de los datos.

Conclusiones

Los modelos jerárquicos lineales son una metodología de investigación que permite al investigador profundidad de análisis, pues se ha demostrado que con su uso, las investigaciones pueden dar un paso más allá en la explicación de los fenómenos de estudio. Con ello, observa y analiza el comportamiento de las variables que integran el fenómeno de estudio, en forma individual, colectiva y cruzada, y se hace uso de las características

de todas las variables en sus diferentes niveles (micro y macro), lo cual distingue plenamente las particularidades de los sujetos y los elementos contextuales donde se desarrollan, que incluye el contexto de los sujetos y muchas investigaciones descartan tales características, aún a sabiendas que su influencia puede modular las acciones particulares y su exclusión del análisis puede conducir a errores en la interpretación de los resultados.

Introduciendo el contexto en el análisis se incrementa el número de inferencias posibles que se pueden realizar sobre un tema determinado, brindando con ello un elemento enriquecedor a la investigación. Este recurso es básico cuando se quiere indagar la existencia o intensidad de determinados fenómenos a nivel micro, que están asociados con la intervención de un nivel superior y, para ello, solamente se pueden utilizar los modelos jerárquicos lineales, debido a que de otra manera sería imposible lograrlo.

Utilizados con el instrumento de evaluación de la docencia universitaria en la Universidad de Costa Rica (UCR), se puede expresar que el instrumento construido por el CEA es robusto, altamente fiable y válido, lo cual demuestra que no se ve afectado por factores considerados como sesgo y que están relacionados con la edad del estudiante, género, carrera, curso, departamento, interés, género del profesor, tipo de clase, facultad, experiencia, entre otros.

Uno de los aportes significativos de esta metodología es el estudio sobre la validez del instrumento utilizado por el CEA, pues queda demostrado que se ve poco afectado por las variables contextuales, que históricamente se han señalado con un elemento de sesgo de estos instrumentos y con ello se demuestra todo lo contrario.

De los modelos jerárquicos señalamos que son una metodología de estadística de avanzada, que permiten una profundidad de análisis muy superior a los métodos tradicionales. De esa forma:

- 1) A las Unidades académicas les permitirá contar con instrumentos válidos, que no se vean afectados por factores ajenos a la docencia universitaria, lo que les posibilitará la construcción de nuevos instrumentos o tener toda la confianza en los que tienen.
- 2) Los investigadores tendrán material relevante para análisis de primera mano.
- 3) Los profesores y administrativos podrán confiar plenamente en su evaluación que les suministrará información veraz, la cual permitirá mejorar su acción.

- 4) La institución puede estar totalmente segura de que el instrumento de evaluación de la docencia universitaria es robusto y no se ve afectado por variables externas a la actividad docente, lo cual le permitirá tomar las decisiones que se consideren convenientes para la mejora de estos.
- 5) Las unidades académicas que evalúan constantemente a sus docentes, podrán observar el comportamiento de sus profesores (as) desde la opinión de sus estudiantes, con instrumentos muy consistentes y válidos.

Referencias

- Acevedo Alvarez, R. y Rodríguez, N. M. (2006). **Factores de sesgo asociados a la validez de la evaluación docente universitaria: un modelo jerárquico lineal**. Archivos Analíticos de Políticas Educativas, 14 (34). Recuperado [20 julio del 2007] de <http://epaa.asu.edu/epaa/>
- Acevedo, R. (2009): **Los Modelos Jerárquicos Lineales: Fundamentos Básicos para su Uso y Aplicación**. Instituto de Investigaciones Psicológicas. U.C.R. San José: Costa Rica.
- Acevedo, R. y Fernández, M. J. (2004): **La percepción de los estudiantes universitarios en la medida de la competencia docente: validación de una escala**. En Revista de Educación. N° 28 (2): 145-166. San José: Editorial de la Universidad de Costa Rica.
- Acevedo, R. (2003): **La evaluación de la competencia docente universitaria: un modelo jerárquico lineal**. Madrid: Editorial de la Universidad Complutense de Madrid. Recuperado [13 diciembre del 2007] de <http://www.ucm.es/BUCM/tesis/edu/ucm-t26870.pdf>
- BRYK, A.S. y RAUDENBUSH, S.W. (1992): **Hierarchical Linear Models** Newbury Park, Ca.: Sage.
- Hox, J.J. (1994). **Hierarchical regression models for interviewer and respondent effects**. Sociological Methods and Research, 22(3), 300-318.
- García Ramos, J. M. (1999^a). **Análisis multirasgo- multimétodo en la validación de instrumentos de medida para la evaluación de la calidad docente en instituciones universitarias**. Revista Española de Pedagogía, 214, pp. 417-444.

- García Ramos, J. M. (1997). **Valoración De La Competencia Docente Del Profesor Universitario.** Una Aproximación Empírica. Revista Complutense De Educación, 8 (2), pp. 81-108
- Gaviria, J. Martínez-Arias, R. y Castro, M. (2004, Mayo 5). **Un Estudio Multinivel Sobre los Factores de Eficacia Escolar en Países en Desarrollo: El Caso de los Recursos en Brasil.** Education Policy Analysis Archives, 12 (20). Recuperado de <http://epaa.au.edu/epaa/v12n20/>
- LINDLEY, D.V. y SMITH, A.F.M. (1972). **Bayes estimates for the linear model.** En Journal of the Royal Statistical Society, Serie B (34), pp.1-41.
- Plewis, I. (1997). **Statistics in Education.** London: Edward Arnold
- Plewis, I. (1998). **Multilevel Models. Social Research Update, 23.** Recuperado el 21 enero del 2001 en <http://www.soc.surrey.ac.uk/sru/SRU23.html>
- SMITH, A.F.M. (1973). **A general Bayesian linear model.** En Journal of the Royal Statistical Society, series B (35), pp. 61-75.
- Ting, K. F. (2001). **A Multilevel Perspective On Student Ratings of Instruction.** Lessons From the Chinese Experience. Research in Higher Education. Vol. 41, 5, pp. 637-653.