

## Propuesta de modelo estadístico para la evaluación numérica de los niveles de desempeño en competencias

PÉREZ, Arturo†\*, LEAL, Irce y RAMÍREZ, Mónica

Recibido 2 de Enero, 2017; Aceptado 8 de Abril, 2017

### Resumen

Considerando el Lineamiento de Evaluación y Acreditación de Asignaturas de los Planes de Estudio 2009 – 2010 de los Institutos Tecnológicos, en el que se plantea cuantificar las competencias alcanzadas por los alumnos del Sistema, en cada una de sus asignaturas, surgen las preguntas siguientes acerca de la competencia: ¿Cuáles son las actividades idóneas representativas de cada una? ¿Se pueden cuantificar a través de varias actividades? ¿Cuáles actividades se pueden concatenar para cuantificar una? Para responder a estas preguntas se realizó un análisis estadístico de las posibles combinaciones de actividades, tomando en cuenta las características de cada competencia. En este trabajo se presentan las concatenaciones plausibles de actividades cuantificadoras, su justificación y valoración. La comprensión, por parte del docente, de cómo cuantificar cada competencia para cada alumno, así como el conocimiento claro y preciso de las concatenaciones valoradas, por parte del alumno, permitirá a este último determinar en cuáles actividades debe concentrar su esfuerzo, desarrollar habilidades y cuales fortalecen su competitividad.

**Cuantificar, competencia alcanzada, actividad cuantificadora, concatenar**

### Abstract

When considering the Guidelines for the Evaluation and Accreditation of Courses of Study Plans 2009 - 2010 of the Technological Institutes, in which it is proposed to quantify the achieved competencies by the students of the System in each one of their subjects, the following questions arise about Competencies: What are the appropriate representative activities of each competency? Can they be quantified through various activities? Which activities can be combined to qualify as one? To answer these questions, a statistical analysis of the possible combinations of activities was carried out, taking into account the characteristics of each competency. In this paper we present the plausible combinations of quantifying activities along with their justification and valuation. The teacher's understanding of how to quantify each competency for each student, as well as the clear and precise knowledge of the student's assessed concatenations, will allow the learner to determine which activities they should concentrate their effort on to develop skills and strengthen their competitiveness.

**Qualify, achieved competencies, quantifying activities, concatenation**

**Citación:** PÉREZ, Arturo, LEAL, Irce y RAMÍREZ, Mónica. Propuesta de modelo estadístico para la evaluación numérica de los niveles de desempeño en competencias. Revista de Ciencias de la Educación 2017. 1-1:27-34

† Investigador contribuyendo como primer autor.

\*Correspondencia al Autor Correo Electrónico: tihcox@hotmail.com

## Introducción

Desde el punto de vista pedagógico, cabe hacerse la pregunta: ¿A qué evaluación remite el enfoque por competencias? No se trata sólo de pensar en una evaluación formativa, aunque ésta sea indispensable en una pedagogía de situaciones-problemas o en gestiones de proyectos. Cuando los alumnos aprenden según estos pasos, se encuentran necesariamente en una situación de observación formativa, y son llevados a confrontar sus maneras de actuar y a retroalimentarse mutuamente. En este caso, la evaluación no se apoya en la experiencia, sino en los procesos en curso, de acuerdo a un conjunto de interacciones, explicaciones y vacilaciones sucesivas.

Es imposible evaluar las competencias de manera estandarizada. Es necesario dejar atrás la prueba escolar clásica como paradigma evaluativo, renunciar a organizar un “examen de competencias” poniendo a todos los “competidores” en una misma línea de partida.

Es verdad que las competencias se evalúan, pero de acuerdo a situaciones que, según el caso hacen que algunos sean más activos que otros, puesto que no todas las personas hacen la misma cosa en la misma cantidad de tiempo. En cambio, cada cual hace ver ampliamente lo que sabe hacer actuando y razonando en voz alta, tomando iniciativas y riesgos. Esto permite, cuando es necesario para fines formativos o certificativos, establecer balances de competencias individualizados. Se sospechará de la arbitrariedad de estos balances, sobre todo si la institución y los docentes no han aclarado y negociado otro contrato de evaluación, sin cuadros estadísticos ni competición. Lo que importa es que los alumnos acepten que el profesor juzgue las competencias de manera global, en situación, como se debe hacer en la formación profesional.

El profesor no va a evaluar haciendo comparaciones entre los alumnos; realizará más bien una comparación entre la tarea por cumplir, lo que el alumno ha hecho y lo que él haría si fuera más competente.

Y es en este último punto que el trabajo que se presenta aquí adquiere importancia. Surge la interrogante: ¿De qué manera se evaluará?

Para hacer esto, se presenta una propuesta heurística y se recurre a la herramienta estadística para probar la bondad de tal propuesta. En particular, se emplea la regresión lineal múltiple.

La propuesta consiste en proponer actividades que el alumno realizará en el aula y algunas fuera de ellas, con la finalidad de que él argumente sus respuestas y actitudes ante los problemas planteados, en principio en las asignaturas de Matemáticas y posteriormente, una vez presentada y evaluada la propuesta, llevarla a las demás asignaturas, en caso de que la evaluación al presente trabajo sea satisfactoria.

Las actividades que el alumno realizará se identifican como las variables aleatorias sobre las cuales se aplicará la técnica de regresión.

La concatenación, se refiere al conjunto de actividades con las cuales, se propone, se evaluará cada una de las competencias. Es claro que, desde el punto de vista heurístico, el resultado de cada reacción humana no corresponde a una sola actividad, sino a un conjunto de ellas. Luego, evaluar una competencia numéricamente, se refiere a evaluar las actividades humanas conscientes que conducen a una respuesta esperada, provocada y prevista por el profesor en un intervalo de tiempo determinado, ya sea dentro o fuera del aula.

Una vez identificadas las variables aleatorias con las actividades se construyen las ecuaciones de regresión, se prueba su bondad mediante la técnica de regresión que se considera apropiada, de acuerdo a sus componentes. Se establece, por ejemplo, que el estadístico apropiado es R cuadrada, que como se sabe debe ser un número cercano a uno. Bajo este criterio se toma la decisión de si la concatenación de actividades propuesta es la idónea o no.

### Planteamiento del problema

Por una parte, en el Lineamiento de Evaluación y Acreditación de Asignaturas, correspondiente a los Planes de Estudio 2009 – 2010 del Tecnológico Nacional de México (TecNM), se hace referencia a cinco niveles de desempeño relacionados a una valoración numérica de evaluación como se muestra en la Tabla 1.

Niveles de desempeño	Valoración numérica / Requisito
Excelente	95 – 100. Cumple al menos cinco indicadores
Notable	85 – 94. Cumple con cuatro de los indicadores.
Bueno	75 – 84. Cumple con tres de los indicadores
Suficiente	70 – 74. Cumple con dos de los indicadores.
Desempeño insuficiente	NA (no alcanzada)

**Tabla 1** Niveles de desempeño con Valoración numérica asociada

Los niveles de desempeño se cuantifican por medio de seis indicadores:

Se adapta a situaciones y contextos complejos: puede trabajar en equipo, reflejar sus conocimientos en la interpretación de la realidad. Inferir comportamientos o consecuencias de los fenómenos o problemas en estudio. Incluir más variables en dichos casos de estudio.

Hace aportaciones a las actividades académicas desarrolladas: Pregunta ligando conocimientos de otras asignaturas o de casos anteriores de la misma asignatura. Presenta otros puntos de vista que complementan al presentado en la clase. Presenta fuentes de información adicionales.

Propone y/o explica soluciones o procedimientos no vistos en clase (creatividad): Ante problemas o casos de estudio propone perspectivas diferentes para abordarlos correctamente sustentados. Aplica procedimientos aprendidos en otra asignatura o contexto para el problema que se está resolviendo.

Introduce recursos y experiencias que promueven un pensamiento crítico: Ante temas de una asignatura, introduce cuestionamientos de tipo ético, ecológico, histórico, político, económico, etc. Que deben tomarse en cuenta para comprender mejor, o a futuro dicho tema. Se apoya en foros, autores, bibliografía, documentales, etc. Para apoyar su punto de vista.

Incorpora conocimientos y actividades interdisciplinarias en su aprendizaje: En el desarrollo de los temas de la asignatura, incorpora conocimientos y actividades desarrollados en otras asignaturas para lograr la competencia propuesta sobrepasando la calidad o presentaciones del producto o evidencia requerida.

Realiza su trabajo de manera autónoma y autoregulada: Es capaz de organizar su tiempo y trabajar sin necesidad de una supervisión estrecha y/o coercitiva. Aprovecha la dosificación de la asignatura presentada por el docente (avance programático) para llegar a las clases con dudas o comentarios de la temática a ver. Investiga o lee y en consecuencia es capaz de participar activamente en clase. Se debe tomar en cuenta que el nivel de madurez del estudiante aumenta gradualmente conforme avanza en la carrera.

Por otra parte, la literatura acerca de competencias no es explícita en el aspecto de evaluación; considerando como punto de partida la propuesta pedagógica de Perrenoud (2011). Esto también no es claro en la propuesta del TecNM, que en sus lineamientos para la evaluación y acreditación de asignaturas, no explicita la forma en la cual se realizará la asignación de la escala numérica propuesta en él. Es, de aquí, dónde se deriva la importancia de proponer formas claras y precisas de las asignaciones numéricas.

### Hipótesis

Para las asignaturas de Matemáticas se pueden definir actividades para el alumno, de tal manera que la concatenación de algunas de ellas sea representativa, desde el punto de vista heurístico, de cada uno de los indicadores de las competencias que se quieren evaluar.

### Metodología

#### Regresión lineal múltiple

En la mayoría de los problemas de investigación en los que se aplica el análisis de regresión se necesita más de una variable independiente para el modelo.

La complejidad de la mayoría de mecanismos científicos es tal que, con el fin de predecir una respuesta importante, se requiere un modelo de regresión múltiple. Cuando un modelo es lineal en los coeficientes se denomina modelo de regresión lineal múltiple como (1), más abajo.

Cada coeficiente de regresión  $\beta_i$  se estima a partir de los datos muestrales, usando el método de los mínimos cuadrados. El modelo de regresión lineal múltiple es una representación adecuada de una estructura más complicada dentro de ciertos rangos de las variables independientes  $X_i$ .

El experimentador que utiliza análisis de regresión también está interesado en eliminar variables cuando la situación impone que, además de llegar a una ecuación de pronóstico funcional, debe encontrar la mejor regresión que implique sólo variables que sean predictores útiles.

Un criterio que suele utilizarse para ilustrar lo adecuado de un modelo ajustado de regresión es el coeficiente de determinación múltiple o  $R^2$ .

La cantidad  $R^2$  tan sólo indica que proporción de la variación total de la respuesta  $y_F$  en (1) es explicada por el modelo ajustado. Con frecuencia los experimentadores reportan  $R^2 \times 100\%$  e interpretan el resultado como el porcentaje de variación explicado con el modelo propuesto. La raíz cuadrada de  $R^2$  se denomina coeficiente de correlación múltiple entre  $y_F$  y el conjunto de valores muestrales de las variables aleatorias.

Se debe tener cuidado en el empleo de  $R^2$  en la regresión múltiple debido a que es muy grande la tentación de hacer un sobreajuste.

Hay que tener siempre presente que  $R^2$

□ 1.0 siempre puede obtenerse a expensas de los grados de libertad del error cuando se emplea un exceso de términos en el modelo. Sin embargo,  $R^2 = 1$ , que describe un modelo con ajuste casi perfecto, no siempre genera un modelo que hace buenas predicciones.

El estadístico  $R^2$ -ajustado es una variación de  $R^2$  que proporciona un ajuste para los grados de libertad. El coeficiente de determinación ajustado, por definición, no puede disminuir a medida que se agregan términos al modelo. En otras palabras,  $R^2$  no disminuye a medida que se reducen los grados de libertad del error, ya que este último resultado se produce por un incremento del número de términos en el modelo.

Desde luego que  $R^2$ -ajustado está diseñada para proporcionar un estadístico que castigue un modelo sobreajustado,

### Definición de las variables aleatorias

A continuación se muestran algunas actividades que el alumno puede realizar. Éstas se definen de acuerdo a los objetivos específicos de cada asignatura y serán las variables aleatorias.

Se eligió una muestra aleatoria de seis alumnos en la asignatura de Cálculo Vectorial, en la que se evaluaron las actividades siguientes:

X1: Práctica. Se realiza para la visualización de gráficas con la finalidad de que el alumno relacione las características de la expresión algebraica con las características de la gráfica. En esta actividad se emplea software y se muestra la conveniencia de su uso a partir del graficado con juego de geometría y calculadora. Las contabiliza el docente en su listado de diario y se revisan de acuerdo a las características enunciadas en la rúbrica correspondiente.

X2: Trabajo en pizarrón. El alumno realiza, por ejemplo, el cálculo de derivadas parciales y explica al resto del grupo la forma de proceder.

X3: Firmas en clase. Una vez que el docente explica el tema y muestra el empleo de la técnica para la resolución de los problemas; o bien, una vez que se realizó una lectura de comprensión en voz alta y se responde a las preguntas que surgen durante ella, el alumno propone y desarrolla la solución de los ejercicios y se contabilizan en la libreta de trabajo.

X4: Firmas de tarea. Son los ejercicios que el alumno resuelve fuera de la hora de clase, ya sea por su cuenta o en las horas asignadas para asesoría. Se contabilizan en la libreta de trabajo.

X5: Asistencia. Se contabiliza en el listado de diario y es importante porque la participación del alumno depende de su presencia activa en el aula.

### Construcción de los modelos a través de la concatenación de actividades

La Tabla 2, muestra las actividades que se emplean para evaluar cada indicador. Por ejemplo, el indicador F, “Es capaz de organizar su tiempo y trabajar sin necesidad de una supervisión estrecha y/o coercitiva”, se evalúa con: Práctica, Firma en clase, Firmas de tarea y Asistencia.

Indicador	Actividades				
A	$X_1$	$X_2$			$X_5$
B	$X_1$	$X_2$	$X_3$		$X_5$
C	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	
D		$X_2$	$X_3$	$X_4$	
E	$X_1$	$X_2$		$X_4$	
F	$X_1$		$X_3$	$X_4$	$X_5$

**Tabla 2** Concatenación de actividades

A partir de la información de la Tabla 2, se construyó el modelo de regresión lineal múltiple correspondiente para cada indicador.

Por ejemplo, el modelo para el indicador F está dado por:

$$y_F = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 \quad (1)$$

Luego, por medio del software Minitab se determinó cada uno de los coeficientes  $\beta_i$ . Este procedimiento se aplicó para cada indicador y se estableció la correspondiente ecuación de regresión como (1). Los datos de la muestra se presentan en la Tabla 3.

Variables Regresoras	$X_1$ Práctica	$X_2$ Pizarra	$X_3$ Firmas en Clase	$X_4$ Firmas de Tarea	$X_5$ Asiste	Puntos total
Puntaje asignado	28	15	24	8	24	99
ALUMNO 1	25	12	16	6	23	82
ALUMNO 2	2	8	19	8	22	59
ALUMNO 3	28	11	23	8	23	93
ALUMNO 4	15	8	22	8	16	69
ALUMNO 5	28	15	24	8	20	95
ALUMNO 6	18	15	10	5	19	67

Tabla 3 Datos de la muestra

La Tabla 4, muestra el puntaje asignado a cada indicador en el renglón inmediato inferior a él. Se consideró el mismo peso, 17 puntos, para los indicadores A, B, C, E y F. Al indicador D se asignó un peso de 15 puntos. Note que la suma de los pesos da un total de 100 que es la calificación máxima. La columna de la derecha muestra la calificación final obtenida con este procedimiento.

Observe que, a excepción de los alumnos destacados en algunas actividades, como el Alumno 5 que sobrepasa el puntaje asignado a cada actividad, el puntaje obtenido en cada indicador se obtiene empleando la ecuación de regresión correspondiente (1). Por ejemplo, el puntaje obtenido por el Alumno 1 en el indicador F es de 14.2 de un total de 17. Se obtiene como sigue:

**Puntaje asignado**

$$X_1 + X_3 + X_4 + X_5 = 28 + 24 + 8 + 24 = 84$$

Puntaje obtenido.

$$25 + 16 + 6 + 23 = 70.$$

$$\text{Luego: } 14.1667 = 70 * 17 / 84.$$

Cálculo vectorial							CALIF
Evaluación numérica de los indicadores							
	A	B	C	D	E	F	
Puntaje asignado	17	17	17	15	17	17	100
Alumno 1	15.2	14.2	13.4	10.9	15.6	14.2	83
Alumno 2	8.1	9.5	8.4	11.2	6.5	10.5	54
Alumno 3	17.0	15.9	17.0	13.4	17.0	17.0	97
Alumno 4	9.9	11.4	12.0	12.1	11.2	13.8	70
Alumno 5	17.0	17.0	17.0	15.0	17.0	17.0	100
Alumno 6	13.2	11.6	10.9	9.6	13.7	11.3	70

Tabla 4 Evaluación numérica de los indicadores y calificación final

**Resultados**

Hasta aquí, ya se eligieron actividades para evaluar cada indicador y en consecuencia evaluar el nivel de desempeño.

Pero cabe hacer las preguntas: ¿La actividades elegidas son las apropiadas? ¿La concatenación de ellas refleja apropiadamente la competencia alcanzada por el alumno? La respuesta a la primera pregunta es que se considera aceptable, desde el punto de vista heurístico, esta propuesta de actividades y que, por supuesto, el docente deberá decidir y probar su propia propuesta. Pero es en este punto, de determinar una prueba, que muestre la factibilidad de la propuesta que en este artículo se plantea. Para hacer esto, con Minitab se calcularon los coeficientes para cada ecuación con los resultados siguientes:

$$A = -0.97 + 0.30X_1 + 0.22X_2 + 0.30X_5$$

$$B = -1.91 + 0.17X_1 + 0.31X_2 + 0.25X_3 + 0.18X_5$$

$$C = -8.03 + 0.39X_1 + 0.12X_2 - 0.48X_3 + 2.97X_4$$

$$D = 0.0003 + 0.32X_2 + 0.32X_3 + 0.32X_4$$

$$E = 5.17 + 0.38X_1 + 0.13X_2 - 0.06X_4$$

$$F = 1.753 + 0.25X_1 + 0.02X_3 + 0.98X_4 + 0.003X_5$$

Para cada una de las ecuaciones anteriores se observan, por una parte R2 que indica qué proporción de la variación total del indicador correspondiente es explicada por el modelo ajustado. Luego, la cantidad  $R^2 \cdot 100\%$  es el porcentaje de variación explicado con el modelo propuesto. Por otra parte, se observa también R2 – ajustado, que está diseñado para proporcionar un estadístico que castigue un modelo sobreajustado.

En la Tabla 5, se reporta en porcentaje R2 – ajustado para cada indicador. Estos porcentajes permiten observar que cada uno de los seis modelos no está sobreajustado y la concatenación de las actividades es la apropiada.

Estadístico	Evaluación numérica de los indicadores					
	A	B	C	D	E	F
$R^2$	98.72	99.92	100	100	99.70	100
$R^2_{ajustado}$	96.79	99.59	100	100	99.25	100

**Tabla 5** Valores de R2 – ajustado para cada indicador

## Conclusiones

En el presente trabajo se propone un conjunto de actividades para el alumno con la finalidad de que la asignación de la calificación, según lo indica el TecNM, sea clara para él y, a su vez, el docente tenga la oportunidad de indicarle en cuál de los indicadores tiene oportunidad de destacar y en cuáles tiene que esforzarse para alcanzar la competencia correspondiente. Es claro que el docente tiene también la oportunidad de cambiar las actividades, según los objetivos específicos de cada asignatura o bien del grado de dificultad o profundidad en el aprendizaje del alumno.

Se considera que es importante disponer de una técnica estadística que permita sustentar apropiada y claramente la factibilidad de las actividades realizadas durante el aprendizaje. Por tal razón, en este trabajo se propone la regresión lineal múltiple y en particular los estadísticos R2 para medir el exceso o defecto de actividades con las cuales se evalúa cada indicador.

En el momento en que se redacta el presente surge la inquietud de, posteriormente, analizar mediante la misma técnica o quizá a través del diseño de un modelo polinomial otras alternativas de asignación numérica. Por ejemplo, a los elementos que se evalúan en un rúbrica o reemplazando las actividades aquí propuesta por algunas otras que permitan mayor precisión en la medición de las competencias.

En cuanto al análisis estadístico, note que los indicadores C, D y F en la Tabla 5 muestran un ajuste del 100% para ambos estadísticos, por lo tanto la concatenación sugerida no está sobreajustada. Por otra parte, los indicadores A, B y E muestran un buen ajuste y el valor de  $R^2$ -ajustado es muy cercano al valor de  $R^2$ . El conjunto de seis ecuaciones, una para cada indicador, se emplearon para medir la bondad de ajuste de los valores de los estadísticos.

Cabe aclarar que los modelos de regresión lineal en el conjunto de seis ecuaciones, puede ser que no sea el único que se puede usar para evaluar los indicadores; de hecho, quizás haya otros modelos que generen valores mayores para los estadísticos en los indicadores A, B y E. Los modelos podrían ser más eficaces si se incluyeran otras variables (actividades para los alumnos) o quizá si se eliminaran una o más de las variables en los modelos.

## Referencias

DeSeCo (2000). Definition and Selection of Competencies: Theoretical and Conceptual Foundations. OCDE.

DeSeCo (2005). The definition and selection of key competencies. OCDE.

Díaz Barriga, A. (2006). El enfoque de competencias en la educación. ¿Una alternativa o un disfraz de cambio? Perfiles Educativos, vol. XXVIII, núm. 111, pp. 7–36.

Barnett, R. (2001). Los límites de la competencia. El conocimiento, la educación superior y la sociedad. Barcelona: Gedisa.

Draper, N. R. (1998). Applied regression analysis. USA: Wiley-Interscience Publication.

Kuehl, R. O. (2001). Diseño de experimentos: Principios estadísticos de diseño y análisis de investigación. México: Thomson Learning.

Miller, I. (1984). Probabilidad y estadística para ingenieros. México: Editorial Reverté Mexicana, S. A.

Perrenoud, P. (2011). Construir competencias desde la escuela. México: Alejandría Distribución Bibliográfica, S. A. de C. V.

Planes de Estudio. (2010). Lineamientos de evaluación y acreditación de asignaturas. Tecnológico Nacional de México.

Rawlings, J. O. (1998). Applied regression analysis: a research tool. USA: Springer.

Walpole, R. E. (2012). Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. México: Pearson Educación.