

# El modelo recursivo de enseñanza de las ciencias (REC) para el aprendizaje de la velocidad terminal en estudiantes de ingeniería



Carmen del Pilar Suárez Rodríguez<sup>1,2</sup>, César Mora<sup>3</sup>, Mario Humberto Ramírez Díaz<sup>3</sup>, Manuel Sandoval Martínez<sup>4</sup>, Enrique Arribas Garde<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Coordinación Académica Región Huasteca Sur, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, UASLP, Álvaro Obregón 64, Col. Centro, C.P. 78000. San Luis Potosí, S.L.P. México.

<sup>2</sup>Escuela Normal del Magisterio Potosino, ENESMAPO, Plantel 5. Ejido La Cuchilla, Tamazunchale, S. L. P., México.

<sup>3</sup>Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada CICATA, Instituto Politécnico Nacional, Av. Legaria 694, Col. Irrigación, C. P. 11500, México, D. F.

<sup>4</sup>Universidad Politécnica del Golfo de México UPGM, Carretera Federal Malpaso – El Bellote, Km. 171, Monte Adentro, 86600 Paraíso, Tabasco.

<sup>5</sup>Facultad de ingeniería Informática, Universidad Castilla La Mancha, España.

**E-mail:** pilar.suarez@uaslp.mx

(Recibido el 8 de abril de 2015, aceptado el 25 de octubre de 2015)

## Resumen

El propósito de este trabajo es presentar el análisis del nivel de comprensión sobre el concepto de velocidad terminal en estudiantes de primer semestre de Ingeniería Mecánica Eléctrica dentro de un curso introductorio de Física en la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Unidad Región Huasteca Sur, en México. Para ello se diseñó un instrumento de 22 ítems, enfocados al movimiento de objetos dentro de un fluido, en caída libre principalmente. Los datos revelan que las actividades incluidas en la secuencia didáctica, elaborada con el Modelo Recursivo de enseñanza de las Ciencias, ha provocado mejoras significativas en el aprendizaje de conceptos relacionados a la velocidad terminal. Para un análisis objetivo de los datos, se ha utilizado el factor de concentración (FC) para medir los cambios en los modelos conceptuales de los estudiantes, obteniendo (en el postest) un 32 % de ítems en la zona HH, y un 58% en la zona MM después de la instrucción, resultados que son mucho más favorables que en el pre test. Esto indica que la instrucción ha impactado positivamente en los conocimientos sobre velocidad terminal en los estudiantes.

**Palabras clave:** Velocidad terminal, Modelo Recursivo de Enseñanza de las Ciencias, Ganancia normalizada de Hake.

## Abstract

The purpose of this paper is to present the analysis of the level of understanding about the concept of terminal velocity in freshmen year students of a Mechanic Electric Engineer within an introductory course in Physics at the Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Unidad Región Huasteca Sur, in South Mexico. For this, an instrument of 22 items was designed. The instrument was focused on the movement of objects within a fluid, in free fall mainly. The data revealed that the activities included in the didactic sequence, which was elaborated with the recursive model of Science teaching, has led to significant improvements in learning concepts related to terminal velocity. For an objective analysis of the information, the factor of concentration (FC) has been used to measure the changes in the conceptual models of the students, obtaining (in the posttest) a 32 % of items in the HH zone, and a 58 % in the MM zone after the instruction, results that are much more favorable than those in the pretest. This indicates that the instruction has impacted positively on the knowledge of terminal velocity in the students.

**Keywords:** Terminal Speed, Recursive Model of Science Education, Normalized gain Hake.

PACS:01.40.-d, 01.30.Ob, 01.40.G-

ISSN 1870-9095

## I. INTRODUCCIÓN

Como resultado de la investigación en educación en ciencias, se han realizado diversas propuestas para mejorar el aprendizaje de los estudiantes, lo cual ha implicado el cambio de paradigmas, y con ello, el uso de metodologías,

estrategias de enseñanza-aprendizaje-evaluación, que requieren de una mejora en la práctica docente y en el involucramiento sustancial de los estudiantes en la construcción de su conocimiento [6, 7, 9, 11, 13]. Esta diversidad le da una amplia gama de posibilidades de aplicación al profesorado y así enriquecer su praxis, aunque

cuando no se tiene una sólida formación en enseñanza esta misma diversidad pareciera ser un obstáculo más que una herramienta en el desempeño de la labor docente.

En México, la instrucción Universitaria la realizan principalmente especialistas en las disciplinas y aun cuando los centros educativos se preocupan en la formación del profesorado, la instrucción tradicional (de transmisión recepción o magistral) sigue predominando [10], y como ha sido visto, no favorece en el estudiante las habilidades cognitivas para resolver problemas integrales del contexto, y mucho menos del desarrollo de valores y actitudes. Es por ello que se optó por integrar a los sistemas educativos latinoamericanos en un enfoque basado en competencias (EBC), que tiene como elementos base la construcción de conocimientos, actitudes y valores.

Se piensa que el EBC puede ayudar a solventar los retos que enfrentarán nuestros estudiantes universitarios al finalizar su formación profesional, como son: los procesos de globalización e internacionalización de las economías, cambios acelerados en el desarrollo de la ciencia y la tecnología, el deterioro ambiental y los problemas que ponen en riesgo la convivencia en sociedad.

La implementación del EBC en el nivel universitario, hace necesaria la construcción de propuestas que aporten elementos para una mejora de la práctica docente.

Es por ello que, se ha trabajado en la construcción del Modelo Recursivo de Enseñanza de las Ciencias (REC) [12] como una alternativa de enseñanza, que además de favorecer el aprendizaje de los contenidos científicos, permite atender otros aspectos necesarios para integrar la instrucción bajo el Enfoque Basado en Competencias (EBC).

Este modelo considera aspectos identificados por diversos autores como de suma importancia para favorecer el aprendizaje de las Ciencias, es decir, lo que los alumnos saben (ideas previas), saben hacer (estrategias de razonamiento), creen (concepciones epistemológicas) y creen que saben (metacognición) [3, 5, 14]. Aunque se centra principalmente en las creencias sobre la naturaleza de la ciencia –y hacia la física en este caso–, y su relación con la construcción de la cultura científica de los estudiantes, adicional al aprendizaje de contenidos de la disciplina.

Se ha evaluado el modelo mediante la aplicación en un curso introductorio de Física Universitaria, con estudiantes de ingeniería y el aprendizaje del concepto de velocidad terminal.

En este trabajo se reportan los resultados que evidencian la efectividad del modelo en cuanto a la construcción del concepto.

## II. FUNDAMENTACIÓN

Existen diversos trabajos sobre propuestas experimentales acerca de la caída de los cuerpos, especialmente en caída libre (Alonso, 2011), considerando la fuerza de rozamiento (Gluck, 2003), la fuerza de rozamiento y el empuje del aire en fluidos newtonianos [4] y no newtonianos, considerando

la viscosidad del medio [8], estudios acerca del cambio conceptual en caída libre, y en aulas-laboratorios de bajo costo [1]. Pero no se han documentado estudios relacionados a los efectos de la instrucción, utilizando un instrumento de evaluación para el aprendizaje del concepto de velocidad terminal, a pesar de ser un concepto importante debido a su relación con cursos posteriores en ingeniería –como Mecánica de fluidos–, y a que este concepto evidencia la profundidad de conocimientos de los alumnos en torno a otros conceptos relacionados con cinemática y dinámica, los cuales no han sido explorados.

## III. DESARROLLO

La secuencia didáctica de velocidad terminal considera actividades experimentales, teóricas, de análisis de situaciones reales, solución de problemas tipo y de discusión de resultados. Y utiliza recursos de aprendizaje como lecturas, videos, prácticas de laboratorio y uso de software de análisis de video, discusiones guiadas, y una combinación de metodologías de enseñanza –como aprendizaje basado en problemas, clases magistrales–, pero con un enfoque por cuestionamiento (by inquiry), y aprendizaje por investigación.

Con el objetivo de que las actividades propiciaran el aprendizaje colaborativo, algunas de ellas se realizaron de manera grupal. Al término de cada una de ellas se realizaba un ejercicio de autoevaluación para promover la metacognición. La secuencia fue desarrollada en seis sesiones de una hora, y con un tiempo estimado de dieciocho horas de trabajo independiente, pero bajo la supervisión del profesor. Las actividades de lectura fueron incluidas en un manual de prácticas de laboratorio y en una antología de lecturas de acompañamiento del curso de física.

Los contenidos académicos fueron: la identificación de las variables involucradas en un movimiento en caída libre, los efectos de las fuerzas de fricción en el movimiento acelerado, relación entre las fuerzas de fricción y el medio, el reconocimiento del concepto de velocidad terminal, la solución analítica del problema a través del planteamiento de una ecuación diferencial, y la aplicación de las leyes de Newton, la identificación de los parámetros relacionados con el rozamiento de un objeto que cae. Pensamiento crítico, habilidades metacognitivas y habilidades de comunicación.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez terminado el pre diseño de la prueba de elaboración propia para medir conceptos relacionados a la velocidad terminal, se procedió a su aplicación como prueba piloto. En donde se encontró un pobre muestreo de contenidos, ambigüedad, generalidad y cierta clave de calificación previamente diseñada. Se aplicó a estudiantes de Ingeniería Agroindustrial que cursaban la asignatura de

Física, con un programa de estudios idéntico a la misma asignatura en la carrera de IME.

El tiempo destinado para su resolución fue de 60 minutos dentro del horario de la materia. A los estudiantes se les solicitó su participación, se aceptó a 25, quienes firmaron su consentimiento informado; se les entregó una hoja para registrar sus respuestas, y podían preguntar cualquier duda respecto a los términos utilizados en la redacción.

Así mismo, se pidió a ocho profesores –expertos en la disciplina– que dieran respuesta al instrumento y que aportaran sugerencias. A partir de esto, se encontró que era necesario modificar la redacción en dos de las preguntas, ya que no resultaba del todo clara para el alumno.

Además, el nivel de dificultad de ciertos problemas era muy elevado para su edad y grado escolar, pues requería de conceptos y procedimientos que aún no adquirían, pues eran estudiantes de nuevo ingreso a la Universidad. También se encontraron algunas respuestas erróneas dentro de los distractores, lo que permitió conformar la versión final del instrumento como se muestra en el Apéndice A.

Para la aplicación definitiva, a cada estudiante se le asignó un número de identificación para mantener su confidencialidad; aunque también firmaron un consentimiento informado donde aceptan participar en esta investigación.

Los sujetos fueron ( $N=17$ ) estudiantes universitarios, dieciséis hombres y una mujer, quienes respondieron al Instrumento sobre Velocidad terminal en dos momentos de la instrucción: a) al inicio como pretest y b) al final, como postest.

Se congregó a los alumnos en un aula, bajo la supervisión del profesor de la asignatura y responsable de la investigación; se entregaron los instrumentos y las hojas de respuesta. Posteriormente, se les leyeron las indicaciones y se les aclararon dudas; en ambos casos dieron respuesta al instrumento durante 60 minutos.

### A. Factor de concentración para el test velocidad terminal

Las respuestas de los estudiantes ante un test pueden considerarse como las salidas de la aplicación de uno de sus modelos, dentro de varios contextos físicos. Además, si los estudiantes tienen algún modelo físico consistente, las respuestas deberán estar más concentradas en una de las opciones que en otras, y representarán al modelo en cuestión.

Por otro lado, si no tienen ningún modelo o tiene varios, sus respuestas estarán distribuidas aleatoriamente entre todas las opciones. Una medida que permite obtener información de la distribución de las respuestas es el factor de concentración [2], cuyos valores se encuentran dentro del rango [0, 1], donde el valor más grande representa una respuesta con mayor concentración.

Cuando comparamos los resultados del pre y el pos test, la variación en los patrones que surgen de combinar el factor de concentración y el score, pueden proporcionar más información que sólo la variación del score.

El patrón de respuestas no solo proporciona una medida del desempeño de los estudiantes, sino indica si los estudiantes tienen ideas previas dominantes. Además, la variación del patrón indica cómo evoluciona el estado de los estudiantes con la instrucción.

En este análisis se utiliza un sistema binario de tres niveles, “L” (bajo), “M” (medio) y “H” (alto). En la Tabla I se muestra un código binario de tres niveles que permite cuantificar los modelos estudiantiles.

**TABLA I.** Esquema del código de tres niveles para el score y el factor de concentración.

Score	Nivel	F. Concentración	Nivel
0-0.4	L	0.02	L
0.41-0.7	M	0.21-0.5	M
0.71-1	H	0.51-1	H

En la Tabla II, se muestran los patrones de respuestas y sus implicaciones en la estrategia de enseñanza. Con base a estas tablas, se procede a explicar la distribución de datos de la Figura 1. Los diamantes azules representan las respuestas del pre test, el asterisco negro representa el promedio alcanzado en el pretest. Los círculos rojos representan las respuestas del pos test, el asterisco verde representa el promedio, y la flecha negra muestra el desplazamiento alcanzado entre el pre y el pos test.

**TABLA II.** Patrones de respuestas con un código de dos niveles.

Pre test	Pos test	Significado del cambio de patrón
LL	LL	Los estudiantes no aprendieron nada
	LH	La enseñanza conduce a los estudiantes a modelos incorrectos
	HH	La enseñanza es altamente efectiva
LH	LL	Los estudiantes adquirieron preconceptos incorrectos
	LH	La enseñanza no fue efectiva
	HH	La enseñanza tiende a conceptos correctos
HH	LL	No se aprendió absolutamente nada
	LH	Conduce a modelos incorrectos
	HH	Los estudiantes son muy buenos en este tema

Puede observarse que en el pre test, el 58% de las respuestas caen en la zona no deseada (LL, LM y LH). Dentro de este marco, LL representa una zona de respuestas aleatorias; es decir, los estudiantes tratan de adivinar la respuesta. LM es una zona de dos modelos incorrectos, y LH representa un modelo incorrecto dominante.

Sólo el 42% caen en la zona MM, la cual indica que los estudiantes tienen dos modelos, uno correcto y otro incorrecto. Esto representa una buena aceptación de las respuestas, sin embargo este porcentaje es muy bajo. Por último, la zona HH representa la existencia de un modelo correcto altamente aceptable. Para el pre test, no se alcanza esta zona. No obstante, después de la instrucción

desarrollada y aplicada durante este trabajo, las respuestas muestran un cambio altamente favorable en la mayoría de las preguntas del test.

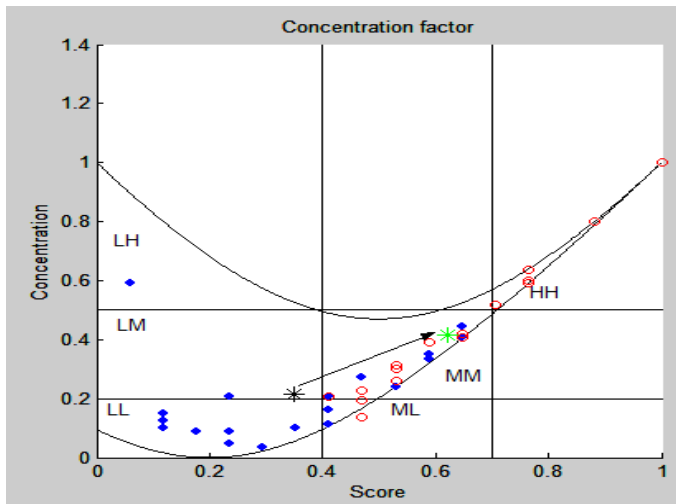
Puede notarse que el 32% de respuestas caen en la zona *HH*, que es la más favorable porque es un modelo correcto dominante, e indica un gran avance en la comprensión de los fenómenos relacionados con la velocidad terminal.

Por otro lado, existe un 58% de preguntas que cambiaron de la zona *LL* hacia la zona *MM*; lo que representa un cambio favorable en general ya que, la mayoría de los estudiantes han adquirido un modelo correcto, y una menor parte un modelo incorrecto.

Sólo el 10% de las preguntas permaneció sin cambios (se mantuvo en la zona *MM*). Debe notarse también que, los modelos erróneos dominantes han desaparecido en el pos test, dando muestra de una buena organización de la secuencia didáctica.

**TABLA III.** Modelos dominantes presentes en los estudiantes antes y después de la intervención educativa.

Pre test		Modelo	Pos test		Modelo
0.3529	0.1002	LL	0.5294	0.2604	MM
0.4118	0.1125	ML	0.6471	0.4182	MM
0.4118	0.2061	MM	0.8824	0.8013	HH
0.5882	0.3321	MM	0.7647	0.6384	HH
0.6471	0.4089	MM	0.7647	0.5906	HH
0.5294	0.239	MM	0.6471	0.4089	MM
0.1176	0.1002	LL	0.4118	0.2061	MM
0.2353	0.0489	LL	0.4706	0.1368	ML
0.2353	0.0876	LL	0.5294	0.2604	MM
0.2353	0.2061	LL	0.5294	0.3121	MM
0.6471	0.4456	MM	0.7647	0.5987	HH
0.0588	0.5906	LH	0.5294	0.302	MM
0.2941	0.0356	LL	0.4706	0.2282	MM
0.1176	0.1487	LL	0.4706	0.1949	ML
0.4706	0.271	MM	0.7059	0.5158	HH
0.5882	0.3518	MM	1	1	HH
0.1176	0.1248	LL	0.6471	0.4182	MM
0.1765	0.0876	LL	0.4706	0.2282	MM
0.4118	0.1604	ML	0.5882	0.3902	MM



**FIGURA 1.** Factor de concentración para el test velocidad terminal.

Con estos datos podemos observar un cambio altamente favorable en los modelos físicos adquiridos por los estudiantes, durante la instrucción planificada. En varios casos, se han eliminado los modelos incorrectos dominantes, que tenían antes de iniciar el curso, y se han podido asimilar modelos correctos dominantes en la mayoría de los estudiantes.

**B. Modelos físicos adquiridos**

En la Tabla III, se muestran los modelos físicos previos y posteriores a la instrucción, basados en el código de dos niveles del factor de concentración. Puede observarse que, se alcanzan mejores modelos en el pos test, incluso seis ítem alcanzan modelos altamente aceptables; lo cual no se alcanzó en ningún ítem durante el pre test. Esto indica que la estrategia de enseñanza tiene un buen diseño y tiende a mejorar el aprendizaje en la comprensión de la velocidad terminal.

Se alcanzaron once preguntas en la zona *MM*, lo cual representa un buen avance conceptual por parte de los estudiantes, si bien existe un modelo incorrecto, la mayoría de ellos presenta un modelo correcto. Obsérvese como la secuencia didáctica ha movido los modelos *LL* que se tenían en el pre test, hacia modelos más aceptables en el *MM*, *ML* o incluso *HH*; estos también son buenos resultados. Cabe mencionar el modelo *LH* ha desaparecido.

**C. La ganancia de Hake**

Ahora, con la intención de dar mayor soporte a la información encontrada con el factor de concentración, se hará uso de un estadístico clásico para medir la efectividad de una instrucción didáctica: la ganancia de Hake. De los datos analizados se ha encontrado que, en el pre test se obtuvo el 33.74% de aciertos, y en el postest se alcanzó un 72%, por lo que la ganancia de Hake será:

$$G = \left( \frac{post-pre}{1-pre} \right) 100\%, \tag{1}$$

$$G = \left( \frac{0.72-0.33}{1-0.33} \right) 100\% = 58\%. \tag{2}$$

Por lo que, esta propuesta de enseñanza alcanzó una ganancia, buena para la instrucción, y con ello se reafirma lo encontrado con el factor de concentración. Por tal razón, la secuencia didáctica presenta un buen diseño de instrucción.

## V. CONCLUSIONES

El diseño de secuencias didácticas basadas en el modelo REC han mostrado ser de mucha utilidad en la enseñanza de las Ciencias –en particular al aplicarlos a estudiantes de la UASLP–, han mostrado resultados favorables para la comprensión del tema de velocidad terminal. Con el apoyo del test conceptual sobre dicho tema, elaborado por los autores, se han podido detectar diversos errores conceptuales tales como: la aceleración de un objeto en caída libre depende de su masa, la aceleración no es constante para cuerpos en caída libre, no tiene claro que el movimiento de un objeto dentro de fluido dependerá de su geometría y no solo de las propiedades del líquido, no identifican cuando dos vectores pueden sumar cero, entre otros.

El factor de concentración muestra que la secuencia didáctica diseñada para este caso, ha mostrado ser muy útil para que los estudiantes puedan mejorar su comprensión de la velocidad terminal; ya que en el posttest se pudieron mover la mayoría de los modelos erróneos (zona LL) hacia zonas con mayor aceptación conceptual (MM y HH).

Se logró alcanzar la zona más importante (HH) en el 32% de las preguntas, siendo este un porcentaje muy aceptable.

Por otro lado, el 57% de las preguntas pasó del modelo LL al modelo MM, logrando con ello que los estudiantes no respondieran aleatoriamente el pos test; de esta manera alcanzamos un modelo correcto y uno incorrecto.

Esto nos permite conocer en qué áreas siguen deficientes los estudiantes, y con ello obtenemos retroalimentación sobre nuestra propuesta.

Solo el 10% de las preguntas permanecieron sin cambios, quedando en la zona MM.

La ganancia normalizada de Hake nos permite reafirmar lo antes descrito, ya que se obtuvo una ganancia del 58%, lo cual indica que la instrucción es buena; no obstante aún hay diversas áreas de oportunidad.

Los modelos que no cambiaron fueron los siguientes:

Algunos alumnos siguen pensando que una pelota más pesada cae más rápido que una más liviana. En el caso de la pregunta 8, en la cual se indica que el vaso contiene aire, algunos estudiantes consideran que la velocidad en el fondo será cero. Si bien son porcentajes pequeños, es importante señalar que esas dos ideas previas han sido difíciles de erradicar.

En términos generales, la instrucción ha hecho que el 90% de los modelos se muevan hacia modelos más adecuados.

## REFERENCIAS

- [1] Calderón, S., Núñez, P., Laccio, L. Iannelli, L. Gil, S., *Aulas-laboratorios de bajo costo, usando TIC*, Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias **12**, 212-226 (2015).
- [2] Bao, L., Redish, E., *Concentration analysis: A quantitative assessment of student states*, Am. J. Phys. Suppl. **69**, 545-553 (2001).
- [3] Biggs, J., *Calidad del aprendizaje universitario*, (Narcea, Madrid, 2006).
- [4] Calderón, S. E, López, S. & Gil, S., *Determinación de la fuerza de roce con el aire usando nuevas tecnologías*, Revista de Enseñanza de la Física **20**, 55-64 (2007).
- [5] Campanario, J. M. & Otero, J. C., *Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: Las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de ciencias*, Enseñanza de las Ciencias **18**, 155-169 (2000).
- [6] Crouch, C. H. & Mazur, E., *Peer Instruction: Ten years of experience and results*, Am. J. Phys. **69**, 970-977 (2001).
- [7] Etkina, E., Van Heuvelen, A., White-Brahmia, S., Brookes, D., Gentile, M., Murthy, S., Rosengrant, D. & Warren, A., *Scientific abilities and their assessment*, Physics Education Research **2**, 1-15 (2006).
- [8] Lommatzsch, T., Megharfi, M., Mahe, E. & Devin, E., *Conceptual study of an absolute falling-ball viscometer*, Metrología **38**, 531-534 (2001).
- [9] McDermott, L. & Shaffer, P., *Tutoriales para Física introductoria*, (Pearson Prentice Hall, Buenos Aires, 2001).
- [10] Ojeda, M., Suárez, C. P., *Los profesores de Ciencias en la Educación Superior. De la praxis al perfil docente*, Tesis de Maestría, Universidad del Centro de México UCEM (2012).
- [11] Sandoval, M. & Mora, C., *Modelos erróneos sobre la comprensión del campo eléctrico en estudiantes universitarios*, Lat. Am. J. Phys. Educ. **3**, 647-655 (2009).
- [12] Suárez, C. P., Mora, C., Ramírez, M. H. & Arribas E., *Learning And Evaluation of Terminal Velocity In A College Physics*, IX International Technology, Education and Development Conference INTED (2015).
- [13] Thornton, R. & Sokoloff, D., *Interactive lecture demonstrations. Active learning in introductory Physics*, (John Wiley & Sons, Hoboken, 2004).
- [14] Tobón, S., Pimiento, J. H. & García, J. A., *Didácticas: Aprendizaje y evaluación de competencias*, (Pearson, México, 2010).