

ACTIVIDADES RETADORAS DE FÍSICA Y MATEMÁTICAS PARA ALUMNOS DE INGENIERÍA

R. D. Santiago Acosta¹
M. L. Quezada Batalla²
R. Martínez Rosado³

RESUMEN

Se presentan tres experiencias de aprendizaje relacionadas con temas de Física y Matemáticas para alumnos de ingeniería implementadas en el Campus Estado de México del Tecnológico de Monterrey. La metodología utilizada fue el Aprendizaje Basado en Retos. Esta técnica se basa en proponer a los alumnos una situación compleja no rutinaria, llamada reto, que se debe resolver colaborativamente en poco tiempo. La estrategia permite observar las diversas competencias sociales y analíticas que utilizan los estudiantes para dar respuestas coherentes y sólidas a las situaciones propuestas. Participaron 212 estudiantes de primero, segundo y tercer semestres organizados en equipos de tres o cuatro integrantes. Las situaciones propuestas fueron: “Modelo de inventarios”, “Generador eólico sin aspas” y “Máquina de Goldberg”. En el primero los alumnos utilizaron herramientas del cálculo diferencial de una y dos variables y conceptos básicos de probabilidad y estadística. En el segundo, los alumnos construyeron un prototipo usando conceptos y leyes de la mecánica, ecuaciones diferenciales, electricidad y magnetismo. En el tercer reto, los alumnos construyeron una máquina secuencial utilizando leyes y conceptos de la mecánica clásica y de la mecánica de fluidos. En este reporte, se discute el trabajo realizado y se muestran resultados de una encuesta aplicada a los participantes.

ANTECEDENTES

La sociedad actual demanda egresados con competencias analíticas de alto nivel y habilidades prácticas que les permitan analizar y resolver los problemas que enfrenta cotidianamente. En particular, en las áreas industriales existe una diversidad de problemas asociados a la ingeniería que demandan profesionistas preparados para analizar situaciones cambiantes y con capacidad para proponer soluciones con tecnologías emergentes.

En este ambiente dinámico, la universidad debe estar preparada para cambiar rápidamente sus procesos administrativos y docentes, para innovar los contenidos de las disciplinas y para reorganizar los planes de estudio de las carreras que ofrece; permitiendo que los estudiantes adquieran el conocimiento que necesiten de acuerdo a sus propios intereses y necesidades académicas (Barnett, 2012).

Por otra parte, las actuales tecnologías de comunicación están modificando los procesos para aprender y los esquemas de enseñanza; como consecuencia, amplían el conocimiento de las personas que las utilizan. Se vive una revolución cultural que pone en discusión los modelos tradicionales de la universidad. Existen ahora canales diversos (cursos en línea, paquetes computacionales, etc.) que son muestra de los cambios surgidos en los últimos años en el ámbito educativo. Además, es común encontrar iniciativas para masificar la educación mediante cursos en línea, a los que puede acceder cualquier persona, y se están impulsando nuevas metodologías didácticas, como Aprendizaje Basado en Problemas o Retos, que permiten una formación educativa abierta, adaptativa, global e híbrida (Cano y Meneses, 2014).

¹ Profesor de planta, Tecnológico de Monterrey. ruben.dario@itesm.mx

² Profesor de planta, Tecnológico de Monterrey. lquezada@itesm.mx

³ Profesor de planta, Tecnológico de Monterrey. rrosado@itesm.mx

El Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) no es ajeno a estos cambios para formar al profesionista del siglo 21. Recientemente, ha actualizado su modelo educativo, llamado Modelo Educativo Tec 21, con el objetivo de fomentar y consolidar las competencias, habilidades y destrezas de los estudiantes que serán valiosas en su futuro laboral. El modelo recoge la experiencia acumulada de varios proyectos institucionales. Por ejemplo, el proyecto del “Hilo Conductor”, desarrollado entre 2007-2012 en el Campus Estado de México (CEM), permitió experimentar un nuevo modelo de enseñanza-aprendizaje basado en competencias en alumnos de ingeniería (Swain, 2009). Los resultados mostraron que: los alumnos ampliaron sus capacidades analíticas, mejoraron su disposición al trabajo y, tercero, desarrollaron competencias relacionadas con el aprender por cuenta propia, el procesar y analizar información, la comunicación oral y escrita, y el uso de tecnología (Prado, 2012).

Con esta visión, los docentes de Física y Matemáticas del ITESM, Campus Estado de México, han revisado las nuevas tecnologías y han propuesto alternativas flexibles para enseñar contenidos que estén en función de las deficiencias y necesidades de los estudiantes. Estas propuestas, acordes con el modelo Tec21, consideran el uso de técnicas didácticas novedosas como la clase invertida, el aprendizaje basado en juegos, la resolución de problemas, el uso de paquetes computacionales y tecnología móvil. Siempre procurando que la Física y las Matemáticas se presenten en un contexto integrado entre sí y con otras áreas.

En eventos recientes, “Espacios de Innovación (4-6 marzo de 2015) y “Semana de Innovación” (21-26 septiembre de 2015), los estudiantes de Ingeniería resolvieron retos relacionados con sus áreas de estudio, dedicando 8 horas diarias para el análisis y solución. En particular, los estudiantes de los primeros semestres resolvieron retos enfocados al uso de conceptos matemáticos y leyes físicas. En la construcción de los retos participó un equipo de profesores del área, además del diseño y puesta en escena de la actividad se determinaron preguntas de investigación y objetivos educativos. El objetivo principal fue: determinar el impacto en el rendimiento escolar, en el uso adecuado de conceptos y leyes de Física y Matemáticas, así como en el desarrollo de competencias de estudiantes de Ingeniería cuando se usan actividades retadoras y módulos de aprendizaje. Algunas preguntas de corte educativo que surgieron de manera natural fueron: ¿qué ocurre con los alumnos cuando se enfrentan a una situación problemática no rutinaria y a la que deben dar respuesta en un plazo corto de máximo 5 días?, ¿cómo es su comportamiento?, ¿qué actitudes adoptan?, ¿de cuáles competencias hacen gala?, ¿se fortalece su capacidad de trabajo y se les prepara para el mundo cambiante que vivimos?

En este trabajo se reportan tres retos del área de Física matemáticas resueltos por los alumnos, la descripción de la metodología usada en cada uno de ellos, el análisis de la solución propuesta por los alumnos y los resultados de encuestas hechas a los propios estudiantes y profesores participantes.

METODOLOGÍA

Marco Teórico

Diversos autores (Argudín, 2005; Prado, 2014) definen competencias de diferentes formas. De acuerdo con el ITESM (2015) una competencia es la integración consciente de conocimientos y metodologías propias de la disciplina, así como habilidades, actitudes y

valores que permiten enfrentar exitosamente situaciones estructuradas y de incertidumbre y que pueden implicar procesos mentales de orden superior como: análisis, evaluación y creación, razonamiento lógico, juicio y pensamiento crítico, resolución de problemas y pensamiento creativo.

A partir de esta definición, se estableció el modelo educativo Tec 21 del Tecnológico de Monterrey (ITESM, 2012). La esencia de este nuevo modelo es el desarrollo y evaluación de competencias mediante experiencias retadoras y vivenciales. Por lo cual, se consideran competencias disciplinares y transversales, las primeras se refieren a los conocimientos actitudes y valores que se consideran necesarios para el ejercicio profesional y las segundas se desarrollan a lo largo del proceso formativo de los estudiantes, son útiles para la vida del egresado e impactan directamente en la calidad del ejercicio de su profesión. El modelo descansa en tres pilares, a saber: flexibilidad en el cómo, cuándo y dónde se realiza el proceso de enseñanza aprendizaje, experiencias retadoras y de alto interés para los estudiantes y uso de nuevas herramientas tecnológicas.

Ante esta perspectiva, los docentes de matemáticas deben revisar las nuevas tecnologías y proponer alternativas flexibles para enseñar contenidos que estén en función de las necesidades de los futuros profesionistas. Una propuesta es considerar el uso combinado de técnicas didácticas (resolución de problemas, clase invertida, aprendizaje basado en juegos, etc.) con tecnología computacional adecuada (paquetes computacionales, tecnología móvil) utilizando la teoría de situaciones didácticas de Brousseau (Brousseau, 1998). En años recientes, se han utilizado estos dos elementos para el diseño de cursos con buenos resultados en la generación y/o fortalecimiento de competencias analíticas de alto nivel (Alanís et al, 2008). Algunos estudios muestran que los alumnos aprenden más profundamente los conceptos matemáticos, ya que el ambiente permite que el estudiante desarrolle sus competencias tecnológicas y las use en su propio beneficio (Skovsmose, 2014). Otra posibilidad es mostrar la Matemática en un contexto integrado con otras disciplinas, algunos estudios muestran que los alumnos desarrollan una mejor habilidad de transferencia de la matemática cuando se desarrolla los conceptos con problemáticas de otras áreas (Delgado, Santiago y Prado, 2002).

El Aprendizaje Basado en Retos (ABR), una metodología derivada del Aprendizaje Basado en Problemas (ABP), suele ser utilizada en el desarrollo de competencias disciplinares y transversales. En esta metodología, un reto es una experiencia vivencial diseñada para exponer al alumno a una situación atractiva y desafiante del entorno, es una situación que exige una respuesta, tiene significado y desafía la inteligencia del alumno, se resuelve colaborativamente, es multidisciplinaria y no tiene solución única (ITESM, 2015). Los alumnos al enfrentar retos se involucran activamente en su proceso de aprendizaje a través de la discusión, reflexión, trabajo colaborativo, se confrontan con situaciones reales y aplican conocimientos. Este enfoque se basa en el triángulo didáctico de la Figura 1, aquí se observa que el reto permite integrar la relación entre alumno, entorno y profesor desarrollando en el primero diversas competencias disciplinares y transversales.



Figura 1. Triángulo didáctico en la metodología ABR

Al igual que en el ABP, la metodología de ABR permite que los alumnos: analicen diferentes soluciones a los retos, relacionen contenidos de varias disciplinas, aprovechen la tecnología para resolverlos, usen el WWW para organizar, colaborar y compartir información, aprendan de forma activa en vez de forma pasiva y documenten sus logros con base en su experiencia.

Experiencia en el aula

En los eventos “Espacios de Innovación” y “Semana de Innovación” los alumnos del CEM trabajaron durante tres y cinco días consecutivos, respectivamente, resolviendo retos de diferentes tipos y áreas. En particular, a los estudiantes del primer tercio se les ofertaron tres retos sobre física y matemáticas. El primero se relaciona con el análisis de inventarios de uno o dos artículos. En el segundo se analizó, diseñó y construyó un generador de energía eléctrica mediante un dispositivo eólico sin aspas. El tercero, fue la construcción de un mecanismo secuencial que ejecutó varios procesos físicos.

Reto: Modelos de Inventarios

Los alumnos de los primeros tres semestres de la carrera de ingeniería industrial resolvieron la actividad “Modelos de Inventarios”. El objetivo del reto es determinar cuánto y cuándo debe una empresa comprar uno o varios artículos, manteniendo un inventario saludable que maximice sus utilidades. En el reto participaron 136 estudiantes, divididos en 34 equipos de 4 alumnos de diferentes semestres. Los alumnos tomaban cursos, en ese momento, de precálculo, cálculo diferencial, cálculo integral, cálculo en varias variables, ecuaciones diferenciales y/o probabilidad y estadística. Los estudiantes fueron apoyados por 18 profesores. Todos ellos fueron capacitados para desarrollar, monitorear y/o observar la actividad y el trabajo del alumnado. El reto se apoyó con una secuencia de 12 actividades que consideraron aspectos matemáticos, tecnológicos y económicos. La secuencia didáctica se elaboró considerando la teoría de las situaciones didácticas de Brousseau (1998). Las actividades pueden catalogarse de acción, puesto que los estudiantes deben actuar sobre los materiales dados utilizando todos sus conocimientos previos y construyendo nuevos para responder a la situación proporcionada. En el reto los alumnos interactuaron con diversos recursos tecnológicos como: Word, Excel, PowerPoint y los paquetes Desmos y Mathematica utilizando diferentes materiales de apoyo para resolver cada una de las actividades propuestas en la secuencia didáctica. Se utilizó la plataforma Google-Classroom para que los alumnos colocaran tanto los reportes parciales como el reporte

final, los programas construidos y la presentación que usaron en la defensa de su propuesta de solución del reto.

Las actividades sugeridas contienen preguntas guiadas para permitir la reflexión de los alumnos acerca de los conceptos que se están revisando. Además, se experimenta con diversos acercamientos tabular, gráfico, algebraico, derivación, varios artículos y demanda aleatoria para resolver la situación. La secuencia didáctica seguida comprendió:

- Investigación de conceptos
- Ensayo sobre conceptos investigados y exposición de resultados
- Primer modelo de inventarios, un acercamiento gráfico y algebraico
- Enfoque tabular utilizando Excel para predecir la Cantidad Económica de Pedido (CEP) óptima.
- Enfoque gráfico para determinar la CEP óptima.
- Modelo algebraico de inventarios para un artículo.
- Uso del cálculo diferencial para determinar la CEP.
- Inventario de dos o más artículos.
- Determinación de la CEP ante demanda aleatoria.
- Casos prácticos por equipo.
- Discusión y presentación de resultados.
- Conferencia de cierre de un especialista de Inventarios en empresas.

En la Figura 2 se muestran algunas actividades; en la Figura 3 se muestran imágenes del trabajo de los alumnos. En las actividades 4 a 7 y 10 los equipos resolvieron situaciones diferentes.

Actividad 3: Un primer modelo óptimo de inventarios



Para construir un primer modelo de inventario, proponemos tres hipótesis que les pedimos tomen en consideración:

- El modelo se realizará para la compra de un solo artículo de inventario.
- El artículo se demanda a tasa constante y este dato se conoce de antemano.
- Se conoce el tiempo de adelanto, esto es, el tiempo transcurrido entre la colocación del pedido y el tiempo necesario para volver a adquirirlo.

Preguntas

- 1) Suponiendo la segunda hipótesis cierta construyan gráficas posibles de cantidad de inventarios vs tiempo.
- 2) Suponiendo la tercera hipótesis cierta construyan gráficas posibles de cantidad de inventarios vs tiempo.
- 3) A raíz de las hipótesis, encuentren expresiones matemáticas del inventario en el tiempo.
- 4) Suponiendo que la tasa de demanda no es constante, sino que cambia en el tiempo, ¿cómo se modifican las gráficas del primer inciso y cómo son expresiones matemáticas posibles?

Elaboren un breve reporte sobre las preguntas para presentarlo al profesor.

Actividad 4: Enfoque tabular para el cálculo de la CEP

Concepto importante: Sea Q el tamaño del pedido. El número de unidades en el inventario es igual a Q cuando el nuevo pedido se recibe físicamente en el inventario; el inventario se agota gradualmente a tasa constante hasta llegar a cero precisamente en el momento en que se recibe el nuevo pedido. Cada nuevo pedido se recibe en el momento en que se agota el pedido anterior lo que garantiza que no falten existencias. El inventario promedio se define como la cantidad $Q/2$.

Observación preliminar importante: Una de las características de un modelo de inventario es que a medida que aumenta el tamaño del lote, aumentan los costos de existencia (mantenimiento) y disminuyen los costos de los pedidos. Por otra parte, a medida que disminuye el tamaño del lote, disminuyen los costos de inventario pero aumentan los de los pedidos. **La cantidad económica de pedido (CEP)**, es el tamaño del lote que disminuye al mínimo el costo total anual del inventario.

Completar la siguiente tabla, estén pendientes de cómo se obtienen los costos totales anuales. Expliquen la forma de obtenerla en un breve reporte.

NOTA: El costo de mantenimiento (anual) es de 100 pesos por unidad.

Pedidos anuales	Tamaño de los lotes	Inventario Promedio	Costos de existencia en pesos (30% anual sobre el costo unitario)	Costo de los pedidos en pesos (1000 pesos por pedido)	Costos totales anuales
1	8000	4000	80,000		81,000
2	4000		40,000	2,000	
4					
8					
12	hh/				
	500				
	250				

Figura 2. Actividades del reto de Modelos de inventarios



Figura 3. Imágenes del trabajo y presentación del reto de inventarios

Reto: Generador eólico sin aspas

El objetivo del reto es fortalecer los conocimientos de electricidad y magnetismo mediante la construcción de un generador eólico de energía eléctrica sin aspas. Los estudiantes deben diseñar y construir un mecanismo oscilatorio que vibre al contacto del aire y con ese movimiento generar energía eléctrica. Los alumnos construyeron varios prototipos basados en materiales piezoeléctricos y utilizaron los conceptos de inductancia y autoinductancia para almacenar energía. Participaron 16 estudiantes de los primeros tres semestres de las carreras de Ingeniería Mecatrónica, Mecánica, Industrial y Biotecnología. Se organizaron 4 equipos y fueron apoyados por 3 profesores. La secuencia didáctica constó de:

- Cátedra e investigación sobre hidrodinámica y resonancia
- Práctica experimental sobre la velocidad del aire y resonancia de barras
- Diseño y construcción de una torre que vibre con aire de velocidad moderada.
- Taller de componentes electrónicos
- Práctica experimental sobre campos magnéticos y ley de inducción de Faraday
- Diseño y construcción de un dispositivo que convierta la vibración de la torre en energía eléctrica.
- Acople del dispositivo electrónico o eléctrico a la torre vibrante y realización de pruebas para medir el voltaje generado.
- Presentación del prototipo y reporte final

Se utilizó la plataforma Google-Classroom para entrega de reportes, video del prototipo funcionando y presentación. En la Figura 4 se muestran imágenes del trabajo de los estudiantes.



Figura 4. Trabajo de los alumnos en el reto del generador eólico sin aspas.

Reto: Máquina de Goldberg

Este reto tiene como objetivo que los alumnos desarrollen la comprensión de la Física Básica involucrada en aparatos sencillos que unidos de forma secuencial que producen un resultado inesperado. Generalmente, el resultado final se puede obtener de una manera sencilla. En el reto participaron 60 estudiantes del primer tercio, divididos en equipos de 4 estudiantes. Cada uno de ellos determinó el objetivo de su máquina (servir cereal con leche, hacer palomitas de maíz, servir un vaso de agua, etc.). Cada máquina tuvo al menos 12 fases secuenciales y un tiempo mínimo de 2 minutos para hacer su recorrido completo. Los estudiantes utilizaron mecanismos (fases) que consideraban el uso del concepto de fuerza, la conservación de la energía de un resorte, el fenómeno del tiro parabólico, las colisiones de objetos, entre muchos otros conceptos. La mayor parte de los alumnos estaban cursando Introducción a la Física y Física I (mecánica clásica). Los estudiantes fueron apoyados por 12 profesores, quienes se reunían con los alumnos dos veces al día para monitorear, retroalimentar y evaluar su trabajo. En el reto, los alumnos usaron herramientas computacionales para analizar cada una de las fases de su máquina, hicieron predicciones de funcionamiento basados en sus conocimientos de física e ingeniería básica. Los alumnos usaron BlackBoard para entregar reportes parciales, final, video de la máquina funcionando y presentación. En la Figura 5 se muestran imágenes de las máquinas construidas por los alumnos.

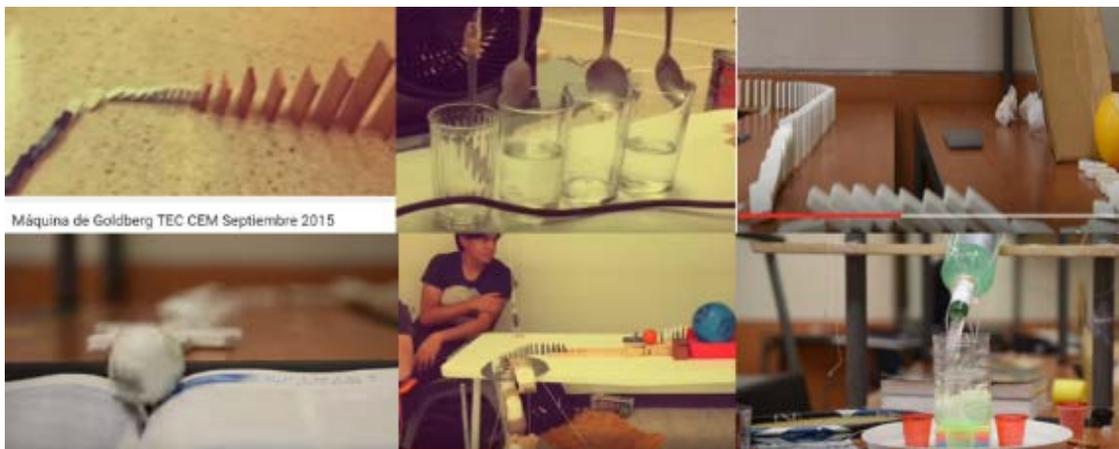


Figura 5. Imágenes del reto de la máquina de Goldberg.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los trabajos realizados por los alumnos se analizaron a la luz de rúbricas de evaluación que consideraron aspectos como: creatividad, análisis de la solución, productos esperados, funcionalidad de los productos, uso de conceptos matemáticos y leyes físicas, presentación y defensa de soluciones y prototipos. De acuerdo con las rúbricas, los alumnos obtuvieron buenos resultados en creatividad, uso de conceptos matemáticos y físicos y presentación de resultados. Sin embargo, se requiere mejorar en la funcionalidad de los dispositivos, El poco tiempo para desarrollar las actividades puede ser un factor importante para elaborar mejores dispositivos. En general, en las actividades se observa que los estudiantes colaboran e integran conocimientos de varias áreas, aspecto inusual en cursos convencionales. El trabajo realizado en los “Espacios y Semana de Innovación” permitió

que los estudiantes interactuarán con alumnos de semestres y carreras diferentes. Como consecuencia, se fortaleció su forma de enfrentar problemas matemáticos y construcción de prototipos. Al terminar, las sesiones se aplicaron diversas encuestas para conocer si los objetivos planteados en los retos se cumplieron. Algunos resultados se muestran en la Figura 6.



Figura 6. Encuesta aplicada a los alumnos en “Espacios de Innovación”

En esta figura observamos que los alumnos consideran que trabajaron activamente y que discutieron ampliamente sus ideas matemáticas y físicas. Además que las discusiones al interior de los equipos fue buena. Por otra parte, los profesores participantes consideran que se requieren mayor capacitación para atender y apoyar a los alumnos, conocer mejor la actividad, sus posibles soluciones y mejorar las rúbricas de evaluación.

CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES

La experiencia obtenida al proponer situaciones complejas a los estudiantes permite concluir que la enseñanza basada en retos fomenta y/o desarrolla competencias de los alumnos, tales como resolución de problemas no tradicionales, planeación y organización, mejora de procesos, capacidad de investigar, aprender por cuenta propia, liderazgo, trabajo colaborativo, toma de decisiones, capacidad emprendedora y de innovación entre otras. Además, al integrar estudiantes de diferentes semestres en el mismo equipo se logran aprendizajes sociales en diferentes dimensiones (comunicación, apoyo a otros, etc.) Los alumnos aprenden a considerar varias alternativas en la solución de problemas considerando herramientas tecnológicas. La organización de los profesores es vital para obtener buenos resultados (guía didáctica). Además se observa que el reto debe contener aspectos vivenciales que permitan mantener el interés de los alumnos en resolverlo.

BIBLIOGRAFÍA

- Alanís, J., Cantoral, R., Cordero, F., Farfán, R., Garza, A., y Rodríguez, R. (2008). *Desarrollo del pensamiento matemático*. México: Trillas,
- Argudín, Y. (2005). *Educación basada en competencias: Nociones y antecedentes*. México: Trillas.
- Barnett, R. (Ed.). (2012). *The future university: Ideas and possibilities*. Routledge.
- Brousseau G. (1998): *Théorie des Situations Didactiques*, Grenoble, La Pensée Sauvage
- Cano, E. V., & Meneses, E. L. (2014). Los MOOC y la Educación Superior: la expansión del conocimiento. Editorial. *Profesorado: Revista de curriculum y formación del profesorado*, 18(1), 3-12.
- Delgado, F., Santiago, R., & Prado, C. (2002). *Principia program: experiences of a course with integrated curriculum, teamwork environment and technology used as tool for learning*. In the Proceedings of 2nd International Congress of Teaching Mathematics; Crete, Greece.
- ITESM. (2012). *Modelo educativo Tec21*. Recuperado de <http://tecdigital.net/cie/Modelo-Tec21/index.htm>.
- ITESM. (2015). *Programas Formaticos de Profesional*. Documento interno no publicado. ITESM, México.
- Prado, C. (2012). Educación por competencias en ciencias básicas. Recuperado de <http://dcb.fi-c.unam.mx/Eventos/Foro5/memorias/extensos/index.php?id=41>
- Skovsmose, O. (2014). *Critical mathematics education* (pp. 116-120). Springer Netherlands.
- Swain, R. (2009). Portal de ANFEI. Recuperado de http://www.anfei.mx/public/files/CNI/XXXVII/04_Ponencia_TECCEM.pdf