



- Análisis de los algoritmos para generación de ambientes virtuales aleatorios

- Propuesta de modificación del rompeolas del puerto de Ensenada, B.C., analizada mediante un modelo cualitativo

- El nuevo mercado eléctrico mayorista en México. Aspectos de la Reforma Eléctrica: Un panorama diferente

- Los estilos de aprendizaje, una revisión desde la neuropsicología

## Editorial

La revista Reacción en este décimo número presenta reflexiones sobre temas de interés e impacto nacional e internacional como son: "Propuesta de modificación del rompeolas del puerto de Ensenada, B.C."; "Análisis de los algoritmos para generación de ambientes virtuales aleatorios" y "El nuevo mercado eléctrico mayorista en México. Aspectos de la Reforma Eléctrica"; además se incluye un texto informativo llamado "Los estilos de aprendizaje, una revisión desde la de neuropsicología". Cada uno de los artículos y el texto informativo demuestran la especialización de los investigadores en específicos ámbitos del conocimiento.

El primer artículo llamado "Modificación del rompeolas del puerto de Ensenada, B.C" trata de la importancia y cuidado del medio ambiente ya que presenta recomendaciones para mantener la playa municipal de Ensenada, B.C. El artículo comenta la importancia del mantenimiento de la zona ya que al modificar el rompeolas podrían cambiar los patrones de corrientes y transporte litoral con posibles resultados adversos al originar un proceso erosivo en la playa municipal. Desde esta perspectiva, es importante considerar el impacto social del principal uso de esta zona que actualmente es lúdico y de esparcimiento. El artículo busca generar consciencia del impacto ambiental y sus repercusiones.

El artículo llamado "El nuevo mercado eléctrico mayorista en México. Aspectos de la Reforma Eléctrica" analiza las consecuencias de la creación de un Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) que permitirá a empresas privadas participar en la generación de electricidad y ofertarla en el mercado. Describe cómo la oferta de energía eléctrica cubrirá la demanda y esto implicará un cambio estructural en la organización industrial de los sectores eléctricos. Este artículo es muy importante porque su objetivo principal es el de analizar la transformación de una industria monopolista integrada verticalmente a una organización industrial que permitirá la competencia en algunas actividades.

En cuanto a las aportaciones en el desarrollo de la tecnología se presenta el artículo sobre el desarrollo de un ambiente virtual para un videojuego complejo en el escrito llamado "Análisis de los algoritmos para generación de ambientes virtuales aleatorios". Este trabajo realiza una comparación entre los distintos algoritmos para la generación procedural de contenido (PCG), enfocados al desarrollo de ambientes virtuales en videojuegos. Es interesante porque resalta la importancia de las matemáticas para el desarrollo de los ambientes virtuales. El texto informativo "Los estilos de aprendizaje, una revisión desde la de neuropsicología" comenta la importancia de los métodos de enseñanza y los distintos procedimientos y estrategias que utiliza el profesorado para que el alumnado aprenda de manera diferente. El texto es útil para los y las docentes dado que presenta el apoyo de las neurociencias para implementar estrategias que faciliten el aprendizaje.

Agradecemos a todos los participantes su publicación en la revista, reconocemos el tiempo y el esfuerzo dedicado en sus investigaciones.

Comité Editorial  
Revista Reacción



## ÍNDICE

Análisis de los algoritmos para generación de ambientes virtuales aleatorios	01
Propuesta de modificación del rompeolas del puerto de Ensenada, B.C., analizada mediante un modelo cualitativo	11
El nuevo mercado eléctrico mayorista en México. Aspectos de la Reforma Eléctrica: Un panorama diferente	22
Los estilos de aprendizaje, una revisión desde la neuropsicología	29



## Comité Editorial

Liliana González Arredondo  
Editor en jefe

Daniel Israel Rodríguez Gante  
Diseño de imagen e integración web

Laura Margarita Aguilar Cervantes  
Corrector Editorial

Arturo Alejandro Arroyo Benavides  
Revisor Editorial

Ma. Angelina Rangel Cervantes  
Corrector Editorial en Lengua Extranjera

Adriana López Barberena  
Representante de Área Económico Administrativo

Ricardo Miguel Sánchez Durán  
Representante de Área Tecnologías de la Información y Comunicación

Brett González Cárdenas  
Representante de Área Sustentabilidad para el Desarrollo

J. Guadalupe Santos Gómez  
Representante de Área Ingenierías



## Análisis de los algoritmos para generación de ambientes virtuales aleatorios.

(Por: Mario Alberto Rivera Legarreta, Mónica Pérez Castañeda, Héctor Adrián Díaz Furlong, Alberto Roman Flores.)

### Resumen

Cuando se trata de desarrollar un ambiente virtual para un videojuego, se necesita tiempo y esfuerzo para la elaboración de dicho contenido, cualquier tecnología que permita hacer este desarrollo de forma más rápida y eficiente será bienvenido para su uso. En este trabajo se realizó una comparación entre los distintos algoritmos para la generación procedural de contenido (PCG), enfocada al desarrollo de ambientes virtuales en videojuegos.

Palabras clave: PCG, SBPCG, PRNG, EDPCG, ItSub.

### Abstract

When developing a virtual environment for a videogame, time and effort are required to elaborate said content, any technology that allow a quicker and efficient development will be welcomed. In this paper, a comparison between diferent algorithms for procedural generation of content (PCG) has been made, focused on virtual environments and videogames.

Keywords: PCG, SBPCG, PRNG, EDPCG, ItSub.

### Introducción

La generación de contenido procedural (PCG) hace referencia a la creación de contenido de una determinada parte de un juego de forma automática, es decir con la ayuda de un algoritmo que desarrolle esta parte sin necesidad de hacerlo de forma manual. Por contenido de un videojuego se entienden todos los aspectos de un videojuego que afectan el modo de jugarlo, como los niveles, la historia, los personajes, las reglas etc., excluyendo los comportamientos de los NPC's (Non Player Characters) y el motor del juego. La generación procedural ofrece varias ventajas a los desarrolladores de videojuegos, tales como el menor consumo de memoria, un menor costo y tiempo de producción y la creación de nuevos tipos de juegos con mecánicas basadas en la generación de contenidos.

### Metodología

Los artículos utilizados en este documento fueron empleados por el contenido específico de generación procedural; además de que los autores hacen énfasis a la implementación de distintos algoritmos para posteriormente hacer un análisis en tiempo de ejecución tomando en cuenta los distintos factores que influyen la entrada y la salida. La palabra clave que se empleó para la búsqueda de información fue PCG y ambientes virtuales, en bases de datos indexadas.

### Generación aleatoria

El desarrollo en la industria de los videojuegos ha abierto muchas puertas en cuanto al desarrollo independiente. Sin embargo, el costo y desarrollo de un videojuego no es tan trivial; debido a que para desarrollarlo se requiere tiempo, así como un gran costo para su producción.

PCG se ha utilizado en juegos digitales desde principios de 1980, con el juego Rogue que utilizaba la generación procedural para mazmorras y Elite para generar galaxias de forma procedural que proveían al jugador la posibilidad de explorar espacios inesperados de gran tamaño. Desde ese entonces ha sido utilizado en muchos otros juegos, algunas muestras de la generación de territorio de forma aleatoria, pueden encontrarse en juegos como Civilization (2005) para explorar el mapa y Minecraft (2011) para crear el mundo<sup>1</sup>.

Juegos como Minecraft generan la parte visible de un terreno potencialmente infinita en tiempo real. Esto sig-



nifica que es capaz de calcular alturas alrededor de  $10^5$  puntos en  $\frac{1}{60}$  segundos por cada cuadro de animación. La generación de terreno es un claro ejemplo de lo que se conoce en la industria de los videojuegos como generación de contenido procedural.

La generación de contenido de forma procedural debe considerar tres propiedades importantes<sup>2</sup>.

1. La generación tiene que ser rápida, lo que significa que tiene que utilizar solamente una fracción de la potencia de cálculo disponible para la computadora.
2. Al azar y estructurado de manera que se crea contenido que es variable e interesante.
3. Debe ser controlable de forma natural e intuitiva.

## Generación procedural de contenido

Existen distintas técnicas para el desarrollo de contenido procedural de un videojuego, por ejemplo, para hacer mundos de juego complejos en una cantidad limitada de tiempo sin poner una gran carga para los diseñadores de contenido. La idea principal del procedimiento es que el contenido no se genere manualmente por diseñadores humanos, sino por ordenadores que ejecutan un procedimiento bien definido. Para evitar la pérdida de control sobre el proceso de diseño, es indispensable que artistas y diseñadores influyan en el producto final mediante ajustes de los parámetros del procedimiento<sup>3</sup>.

Después de tres décadas de investigación, existen hoy diversos métodos para generar proceduralmente diferentes tipos de contenido para juegos. Uno de los métodos más simples se basa en la generación de números pseudoaleatorios (pseudo-random number generation PRNG). El juego Elite utiliza este enfoque desde la década de 1980 para generar universos muy grandes. Un enfoque similar puede ser utilizado para generar texturas para los objetos de juego "kkrieger" por ejemplo, es un juego 3D en primera persona semejante en género a Halo, este implementa técnicas y procedimientos para generar texturas, mallas y sonidos que se utilizan en la creación de un juego complejo. Este requiere de menos de 100 kb de almacenamiento y tres-cuartas partes de magnitud de disco que un juego similar<sup>3</sup>.

Se conocen distintos tipos de juegos y contenidos que pueden ser generados procesalmente, Hendrikx<sup>3</sup> realizó un análisis del diferente tipo de contenido que puede ser generado para un videojuego y lo dividió en distintas categorías. En la ilustración 1 se muestran las diferentes secciones y el método de generación de procedimiento para cada categoría.

2.6/4.6 Derived Content	6.1 New and Broadcast	6.2 Leaderboards		
2.5/4.5 Game Design	5.1 System Design	5.2 World Design		
2.4/4.4 Game Scenarios	4.1 Puzzles	4.2 Storyboards	4.3 Story	4.4 Levels
2.3/4.3 Game Systems	3.1 Ecosystems	3.2 Road Networks	3.3 Urban Environments	3.4 Entity Behavior
2.2/4.2 Game Space	2.1 Indor Maps	2.2 Outdoor Maps	2.3 Bodies of Water	
2.1/4.1 Game Bits	1.1 Textures	1.2 Sound	1.3 Vegetation	1.4 Buildings
	1.5 Behavior	1.6 Fire, Water, Stone & Clouds		

Ilustración 1. Relación de métodos y secciones generable.  
Fuente: Procedural Content Generation for Games: A Survey<sup>3</sup>.

Hendrikx<sup>3</sup> desarrolló en su trabajo una taxonomía utilizada para generar contenidos proceduralmente ordenadas por complejidad para todo el espectro de tipos de contenido, con un énfasis en los métodos que han demostrado ser útiles en aplicaciones comerciales.

## Generación de ambientes virtuales

La representación más común de un terreno es regularmente por campo de altura (una cuadrícula 2D, donde el valor del vértice representa la elevación en su ubicación). Los campos de altura también llamados mapas de altura son fáciles de implementar, además puede ser comprimido y almacenado en la GPU de manera eficiente. La elevación de terreno puede ser generada procedualmente, ya que la elevación montañosa se asemeja a los producidos por los fractales. Una limitación inherente de los campos de altura es la incapacidad de proporcionar aleros y curvas, por lo que las técnicas alternativas para almacenar los terrenos son estructurados en capas, datos o mallas 3D<sup>4</sup>.

Gamito y Musgrave proponen un modelo de sistema de terreno que resulta en voladeros regulares<sup>5</sup>. Algunos algoritmos de generación de mapas de altura se basaron en métodos de subdivisión, por lo que un mapa de altura es iterativo, cada iteración introduce una gran cantidad de aleatoriedad para generar mayor detalle de elevación. Una manera común de ajustar el comportamiento del algoritmo consiste en ajustar el número de pasos de subdivisiones y el desplazamiento inicial. Sin embargo, estos métodos no proporcionan ninguna manera para influir en las características, tales como montañas o valles.

Existen otros métodos estocásticos para la generación de mapas de altura, en su mayoría sobre la base de los generadores de ruido<sup>4</sup>. Similar al método de desplazamiento de punto medio, el control estocástico para mapas de altura se limita a la elección de parámetros iniciales para la generación. El significado de los parámetros puede ser no intuitivo, y con frecuencia solo una gama limitada de posibles valores da resultados plausibles. El rendimiento de los algoritmos de ruido es excelente, es muy adecuado para el procesamiento paralelo, ya que cada punto de la cuadrícula puede ser computado de forma independiente de los valores de los puntos vecinos, similar al algoritmo del k-vecino más cercano. Por otro lado, Olsen<sup>6</sup> describe mediante una representación de altura en dos dimensiones de mapas utilizando valores de punto flotante entre 0 y 1. A menos que se indique lo contrario, todos los ejemplos utilizan cuadrados de mapas con una longitud de lado  $N = 29 = 512$ , dando un total de  $N^2 = 262144$  células, cada célula contiene un valor de altura. El mapa de altura se denota con  $H$  y las células individuales son denotadas con  $h_{ij}$ , donde  $i$  y  $j$  son coordenadas entre los rangos 0 hasta 511<sup>6</sup>. Algunos cálculos se abordan fuera de esos rangos, en ese caso, el módulo se utiliza para envolver las coordenadas alrededor de cada módulo de modo que sea con el vecino más cerca de la célula del lado derecho y ser la más cercada del lado izquierdo en la misma fila<sup>6</sup>.

Se deben tomar en cuenta distintas características al momento de definir el comportamiento para la generación de un terreno; una de ellas es la erosión. El termino erosión cubre muchos fenómenos naturales y el terreno difiere en cuanto a cambios climáticos, que producirán muchos tipos de cambios en un paisaje. En este artículo no se abordará la síntesis para la simulación de la erosión, en cambio, se enfocará en el algoritmo de desplazamiento de punto medio.

### Desplazamiento de punto medio

Otro enfoque a la simulación del ruido  $1/f$  es por un método de desplazamiento de punto medio, en este caso el algoritmo de diamante-cuadro. Jacob Olsen indica en su trabajo que en vez del cálculo de cada célula se hará en varias octavas (hasta 9 octavas con  $N= 29$ ) y luego sumando las octavas, el valor de cada celda solo necesita ser calculado una vez<sup>6</sup>.

El método de desplazamiento del punto medio funciona de forma recursiva calculando los valores faltantes hasta la mitad entre los valores ya conocidos y luego al azar compensando los valores dentro de un rango determinado por la profundidad actual de la recursión. Con una persistencia de 0.5, este rango se reduce a la mitad con cada paso recursivo y una aproximación de  $1/f$  del ruido es creado<sup>6</sup>.

Idealmente, las compensaciones al azar deben tener una distribución de Gauss en el interior del desplazamiento, pero para el proceso de sintetizar terreno, los valores distribuidos de manera uniforme son aceptables y más rápido el cálculo.

Por otro lado, Emilien en su trabajo de generación de modelado procesal para pequeñas ciudades europeas introduce un procedimiento de tres pasos como método de generación.





En primer lugar, se propone un proceso iterativo basado en mapas de interés que se utiliza para generar progresivamente semillas de asentamiento y los caminos que los conectan. En seguida se toma en cuenta el hecho de que una nueva carretera atrae colonos, mientras que una casa nueva con frecuencia conduce a alguna extensión de la red de carreteras, ambos aspectos se toman en cuenta en la generación de mapas. Para implementarlo se usa un método de conquista anisotrópico para segmentar la tierra en parcelas alrededor de liquidación de semillas. Por último, se introduce de forma abierta una gramática mar para generar la geometría 3D<sup>7</sup>.

En su trabajo se demuestra la eficacia de su método mediante la generación de distintos tipos de aldeas en terrenos arbitrarios de una aldea de montaña a un pueblo de pescadores, y validar mediante la comparación con los datos reales.

**Tabla 1. Tiempo computado para la generación de villas en minutos.**

	Pescador	Montaña	Fortificado
Esqueleto	4:00	5:00	7:00
Encomiendas	7:00	11:00	13:00
Geometría	0:20	0:30	0:30

Fuente: Procedural Generation of Villages on Arbitrary Terrains<sup>7</sup>.

En la tabla 1, se puede observar que en el último paso para la generación tridimensional de la aldea, incluyendo carreteras, edificios y vegetación, se obtuvieron variaciones de tiempo significativas cuando se genera un esqueleto, la encomienda y la geometría para cada uno de los modelos del ambiente.

Yoav Parish & Pascal Müller en su trabajo de modelado procedural para ciudades nos plantea una serie de problemas a los gráficos del ordenador. Cada zona urbana cuenta con una red de transporte que sigue la población y las influencias ambientales y un supuesto plan de patrón. Los edificios en este trabajo siguen siendo históricos, estéticos y tienen reglas estatutarias. Para crear una ciudad virtual, una hoja de ruta tiene que ser diseñada y un gran número de edificios tienen que ser generados (caso similar al juego de Gran Theft Auto 5). Para ello proponen un sistema que utiliza un enfoque de procedimiento basado en sistemas L para modelar ciudades. A partir de diversos mapas de imagen dada como entrada, tales como límites de tierra y agua y la densidad de la población, su sistema genera un sistema de carreteras y calles, divide la tierra en lotes, y crea la geometría adecuada de los edificios de las respectivas asignaciones<sup>8</sup>. Para la creación de este sistema ampliaron su funcionamiento con distintos métodos; primero un sistema L que genera la geometría y un sistema basado en la textura de los elementos y métodos procedurales que componen los edificios.

Su sistema llamado *CityEngine* consta de varias herramientas que forman el proceso gráfico que se muestra en la ilustración 2.

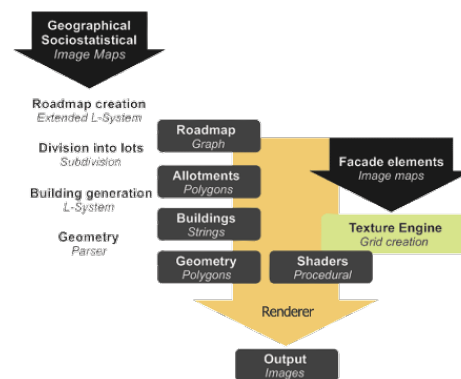


Ilustración 2. Herramienta de creación.





Fuente: Procedural Modeling of Cities<sup>8</sup>.

En una primera etapa, los datos de entrada alimentan al sistema de generación de carreteras utilizando un sistema L; las áreas entre las carreteras se subdividen para definir las asignaciones de los edificios que son colocados. En una tercera etapa, mediante la aplicación de otro sistema L, los edificios se generan como una representación de cadena booleana de operaciones en forma de sólidos simples. Por último, un analizador interpreta todos los resultados para el software de visualización. El software de visualización debe ser capaz de procesar la geometría poligonal y la textura de mapas. Este es el caso práctico para casi cualquier renderizado 3D. Además, la mayoría de los procesadores actuales compatibles, soportan la línea de exploración de texturas por procedimiento, por lo que el mecanismo propuesto para generar fachadas de los edificios puede ser implementado sin ningún problema<sup>8</sup>.

George Kelly & Hugh McCabe en su artículo "*A Survey of Procedural Techniques for City Generation*" mencionan que la propiedad clave de la generación por procedimiento es el que describe la entidad, ya sea la geometría, textura o efecto, en términos de una secuencia de instrucciones de generación en lugar de como un bloque estático. Las instrucciones pueden ser entonces instancias de los activos y la descripción se puede parametrizar para permitir que la generación de instancias tenga características diferentes<sup>9</sup>.

Una de las técnicas que proponen es utilizar la generación de primitivas 3D como parámetros aleatorios, por ejemplo, un cubo con altura al azar<sup>9</sup>. Algunos algoritmos simples que utilizan funciones pseudo-aleatorias se pueden emplear para generar ruido para su uso en la texturización y formaciones naturales, algoritmos recursivos más complejos tales como fractales o sistemas L descritos por Yoav Parish y Pascal Müller en su trabajo, con la variante que George Kelly las utiliza para recrear estructuras orgánicas que se encuentran en la naturaleza como copos de nieve y árboles.

Ebert<sup>10</sup> identifica las siguientes características importantes de las técnicas de generación por procedimientos:

- Abstracción: Geométrica y textura de datos en vez de detalles son abstraídos en un algoritmo o conjunto de procedimientos.
- Control paramétrico: Los parámetros se definen y son ajustados de forma que correspondan directamente a un comportamiento específico en la generación por procedimientos.
- Flexibilidad: Es posible capturar la esencia de una entidad sin que limita explícitamente su comportamiento en el mundo real<sup>9</sup>.

En los tiempos modernos, la PCG se utiliza generalmente solo en roles estrictamente especializados y casi siempre durante el desarrollo del juego. La técnica probablemente más utilizada es *SpeedTree*, que genera automáticamente un gran número de árboles similares, pero no idénticos para poblar terrenos.

## Alternativas a la PCG

Georgios y Julian hacen énfasis a un nuevo enfoque para PCG, llamado Experience-Driven Procedural Content Generation (EDPCG). El enfoque que proponen se enfoca únicamente en la experiencia del jugador y su vinculación con la generación procedural de contenidos<sup>11</sup>.

Tomando en cuenta el contenido desarrollo a través de los estudios en el marco de EDPCG se considera como ámbitos claves el contenido del juego tomado como segmento para la construcción del mismo, así como la totalidad del juego maximiza el conocimiento y la experiencia del jugador. Dicho lo anterior, el contenido puede ser visto como bloques de construcción que no afectan directamente la experiencia del jugador pero que, si definen un componente principal para el control del ciclo de juego, es decir, la secuencia de acciones que se llevan a cabo en la ejecución<sup>11</sup>. Los principales componentes que se abordaran para el EDPCG son los siguientes:

- Modelado de la experiencia del jugador: Se modela como una función del contenido del juego y el jugador.
- Calidad del contenido: La calidad del contenido generado es evaluado y vinculada a la experiencia del modelado del jugador.



- Representación de contenido: El contenido está representado en consecuencia, para maximizar la eficacia, rendimiento y robustez del generador.
- Generador de contenido: El generador de búsquedas a través de contenidos de espacio que optimiza la experiencia del jugador según el modelo adquirido<sup>11</sup>.

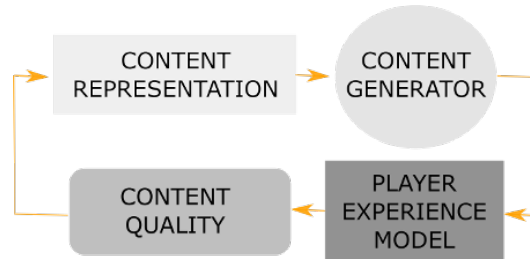


Ilustración 3. Componentes principales de EDPCG.  
Fuente: Experience-Driven Procedural Content Generation<sup>11</sup>.

Una vez conocidos las distintas técnicas para generación procedural por contenido es necesario conocer los distintos parámetros que se necesitan evaluar cuando se genera dicho contenido. Por ello nos basaremos en los criterios de Kelly y McCabe “*Generación Procedural de Ciudades*”; pero dándole un enfoque diferente que pueda ser aplicado a cualquier tipo de terreno. Los criterios que propone George Kelly son los siguientes:

1. Realismo: El nivel de detalle para que el ambiente generado parezca real.
2. Escala: El ambiente está a una escala determinada.
3. Variación: Puede recrear distintas variaciones o si es siempre homogéneo.
4. Entrada: Conocer la entrada de datos mínimos necesarios para generar la producción básica y qué datos de entrada se requieren para tener la mejor salida.
5. Eficiencia: Cuanto tiempo es necesario para crear los ejemplos que se muestran y que tipo de hardware se utilizaron para generarlos.
6. Control: La generación puede cambiar por influencia del usuario de manera inmediata.
7. Tiempo real: La ciudad se puede ver en tiempo real, además de que existan técnicas para optimizar la exploración en tiempo real<sup>9</sup>.

En su trabajo George Kelly menciona tres puntos principales para el desarrollo del contenido:

- Accesible – Los datos de entrada como datos geo-estadísticos o reglas no deben ser obligadas a tomar en cuenta dentro del sistema.
- Interactivo – El sistema no debe ser capaz de generar totalmente de forma autónoma, sino también facilitar con un control interactivo.
- Tiempo real – Las técnicas de optimización como “*culling*”, “*paging*” y “*level of detail*” deben ser implementadas<sup>9</sup>.

En resumen, su investigación fue crear un sistema de generación de ciudad adecuado para aplicaciones en tiempo real capaz de crear de forma realista, variada y gran escala de forma eficiente.

Mientras que los métodos anteriores para la generación de carreteras, terrenos, ambientes virtuales han demostrado ser eficientes en distintas maneras, vienen a costa de la complejidad de la programación. Nicholas Rudzicz & Clark Verbrugge manejan un enfoque diferente; el problema se basa en un método eficiente y conceptualmente sencillo que, conserva la flexibilidad y realismo comentado en los algoritmos anteriores<sup>12</sup>.

Dicho todo esto, su enfoque se basa exclusivamente en la subdivisión repetida de polígonos (*ItSub – Iterated Subdivision*). Este algoritmo inicial se extiende primero a través de la imposición de varias restricciones para asegurar salidas realistas, y finalmente, permite parametrizar la salida, a través de un uso modular de mapas de bits.

El algoritmo funciona colocando un número de vectores de semillas al azar en un “*canvas*” de dos dimensiones y repetidamente dibujando en forma perpendicular segmentos de líneas a partir de estos vectores iniciales y otros nuevos segmentos creados. La apariencia y calidad son impulsadas por el método de asignación, también por la formación de dibujo de vectores y el rango permitido de tamaños<sup>12</sup>.

En su forma más simple, el algoritmo *ItSub* requiere una entrada predefinida, un simple polígono  $P$ , un mínimo y máximo de área –  $A_{min}$  y  $A_{max}$ , respectivamente, para las subdivisiones resultantes o asignaciones. El algoritmo entonces bisecciona  $P$  al azar, resultando en dos nuevos polígonos. El último entonces puede ser aceptado o rechazado en base a sus áreas individuales: los polígonos más grandes se subdividen, mientras los de un tamaño aceptable se reservan de manera completa para dividirse<sup>12</sup>. El proceso descrito se puede apreciar en la ilustración 4.

---

**Algorithm 1: Iterated Subdivision**

---

**Input:** Polygon  $P$ ,  $A_{min}$ ,  $A_{max}$   
**Output:**  $S_{allot}$ ,  $S_{roads}$

```
1  $S_{oversized} \leftarrow P$ 
2  $S_{roads} \leftarrow \emptyset$ 
3  $S_{allot} \leftarrow \emptyset$ 
4 repeat
5    $P_{working} \leftarrow S_{oversized}.pop()$ 
6    $L_{bisect} \leftarrow P_{working}.getAcceptableBisector()$ 
7    $\{p_1, p_2\} \leftarrow P_{working}.bisect(L_{bisect})$ 
8    $S_{roads} \leftarrow S_{roads} \cup L_{bisect}$ 
9   if  $p_1.area > A_{max}$  then
10    |  $S_{oversized} \leftarrow S_{oversized} \cup p_1$ 
11  else
12    |  $S_{allot} \leftarrow S_{allot} \cup p_1$ 
13  end
14  if  $p_2.area > A_{max}$  then
15    |  $S_{oversized} \leftarrow S_{oversized} \cup p_2$ 
16  else
17    |  $S_{allot} \leftarrow S_{allot} \cup p_2$ 
18  end
19 until  $|S_{oversized}| == 0$ 
```

---

Ilustración 4. Algoritmo *ItSub*

Fuente: “*An Iterated subdivision algorithm for procedural road plan generation*”<sup>12</sup>.

El componente clave del algoritmo es el conjunto de polígonos de gran tamaño, que contiene todos los polígonos con una superficie superior a  $A_{max}$ . Inicializado solamente con el polígono  $P$  original, y devuelve un solo polígono a la vez. Una línea bisectriz se genera dentro de este polígono de trabajo para la elección de un borde al azar, y después un punto se genera de forma aleatoria a lo largo de este borde. La línea generada es extraída a través de este borde (no paralelo al borde mismo) y se dividirá en dos polígonos, a los cuales nombraremos  $p_1$  y  $p_2$ . Estos polígonos resultantes se evalúan individualmente. En primer lugar, si cualquiera de los polígonos es demasiado pequeño (tiene un área menos de  $A_{min}$ ), entonces la bisectriz se rechaza y se genera uno nuevo, de lo contrario es aceptado. Entonces, si un polígono todavía es de gran tamaño, es añadido de nuevo, mientras que si su tamaño es aceptable se añade al conjunto final de todos los polígonos generados o asignaciones. El algoritmo va a continuar hasta que no encuentre polígonos de gran tamaño para procesar<sup>12</sup>.

Nicholas Rudzicz & Clark Verbrugge hicieron una comparación con el algoritmo *ItSub* tomando en cuenta el uso de mapa de bits y cuando no se utiliza, teniendo una mejoría en cuanto al tiempo y al número de caminos generados cuando no se utilizó mapa de bits. La influencia del número de caminos en tiempo real y el tiempo se describen en la tabla 2.



**Tabla 2. Tiempo de generación y caminos generados.**

No bitmaps		All bitmaps	
Roads	Time (ms)	Roads	Time (ms)
200	386	60	944
1015	1190	301	1710
2043	2437	639	2459
4074	4392	1366	3521
		4259	9877

Fuente: "An Iterated subdivision algorithm for procedural road plan generation"<sup>12</sup>.

## Resultados

Los distintos trabajos descritos en este documento permitieron poder conocer el orden de eficiencia de cada uno de los algoritmos descritos, tomando en cuenta como punto de comparación el tiempo de generación del ambiente; sin embargo, en cada uno de los trabajos la generación es distinta, algunos autores realizaron sus trabajos de forma distinta con terrenos, ciudades, edificios, carreteras o combinaciones de estos modelos. Parish & Müller en su trabajo tuvieron los siguientes resultados con un algoritmo de sistemas en L como se muestra en la tabla 3.

**Tabla 3. Resultados de generación de ciudades**

Parámetro	Tiempo
Ciudad	10 minutos

Fuente: Procedural Modeling of Cities<sup>8</sup>.

George Kelly & Hugh McCabe obtuvieron resultados mejores dependiendo del parámetro de medición obtenido en este caso utilizando generación de primitivas 3D como parámetros aleatorios, también utilizando sistemas en L. Se puede apreciar en la tabla 4 que los resultados de generación en cuanto a ciudad son muy parecidos, teniendo en cuenta que se genera una ciudad con sistemas L.

**Tabla 4. Resultados de generación de ciudades**

Parámetro	Tiempo
Calles	10 segundos
Ciudad	10 minutos
Edificios	15 minutos
Texturas- Edificios	3 segundos

Fuente: A survey of Procedural Techniques for City Generation<sup>9</sup>.

Emilien<sup>7</sup> con su método iterativo de generación de mapas consiguió resultados descritos anteriormente en la tabla 1 donde los tiempos de generación fueron de más de 5 segundos en cuanto a la creación de solo terreno.

Olsen<sup>6</sup> en su trabajo por método de desplazamiento de punto medio obtuvo tiempos distintos tomando en cuenta diferentes características para el terreno como se muestra en la tabla 5; siendo mejores que los reportados por la generación iterativa de mapas por Emilien<sup>7</sup>.

**Tabla 5: Resultados de tiempo de generación de terreno**

Terrain type	$\epsilon$	$\gamma$	B	$\gamma$
Base terrain	0.665	0.713	0.002	0.001
Reference thermal erosion, 50 iterations	0.614	0.980	0.002	0.001
Optimized thermal erosion, 50 iterations	0.626	0.983	0.002	0.001
Reference hydraulic erosion, 100 iterations	0.916	0.834	0.050	0.039
Optimized hydraulic erosion, 100 iterations	1.077	0.828	0.157	0.140
New algorithm, 50 iterations, $T = 8/N$	1.339	0.303	0.173	0.070
New algorithm, 50 iterations, $T = 12/N$	1.850	0.752	0.393	0.580
New algorithm, 50 iterations, $T = 16/N$	2.204	0.905	0.434	0.877
New algorithm, 50 iterations, $T = 20/N$	2.340	0.949	0.429	0.953

Fuente: Realtime Procedural Terrain Generation<sup>6</sup>.

Georgios y Julian<sup>11</sup> tuvieron los mejores resultados en cuanto a generación, se pueden apreciar en la tabla 2. Estos tiempos fueron menores a 10 segundos tomando en cuenta que con su propuesta de algoritmo EDPCG, reducen el tiempo de generación además de que se enfoca en el desarrollo de carreteras de forma procedural en un terreno dado.

## Conclusiones

En el presente trabajo se han presentado los distintos métodos, algoritmos y técnicas para generar una gran variedad de características en los ambientes virtuales en 3D. La PCG es un área de investigación presente que genera muchos resultados eficientes en cuanto al tiempo de desarrollo en tiempo real, incluyendo varias áreas y propósitos específicos, además, la aceptación y el uso de estas herramientas para ambientes virtuales han sido de un uso considerable en la mayoría de los juegos modernos.

Cabe mencionar que el análisis descrito en este trabajo permitió conocer el orden de eficiencia en cuanto al tiempo en el uso de los distintos algoritmos, aportando diferentes características en cuanto a entradas y salidas; es por ello, que se puede hacer uso de las distintas técnicas para una sola generación, es decir, implementar algoritmos híbridos que puedan reducir aún más el tiempo de generación, tomando la salida deseada; que en este caso puede ser tanto terrenos, caminos, edificios y una gran variedad de características para generar. El análisis hecho de todos los algoritmos nos lleva a concluir que Georgios & Julian<sup>11</sup> en su algoritmo de EDPCG permiten crear ambientes virtuales de forma rápida y eficiente, además de poder tener distintos modelos de entrada; teniendo también en cuenta que la salida puede ser cualquier modelo como edificios, terreno, carreteras o simplemente generar un nivel con diferentes características para un videojuego.

## Referencias

- G. Smith. The Future of Procedural Content Generation in Games. Association for the Advancement of Artificial. [s.n]. pp. 2-3, 2014.
- I. Parberry. Designer Worlds: Procedural Generation of Infinite Terrain from USGS Elevation Data. Laboratory for Recreational Computing, Denton, USA:Texas, 2013.
- M. Hendriks, [et al]. Procedural Content Generation for Games: A Survey. [en línea]. February 2011. ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications and Applications. Disponible en: [http://www.st.ewi.tudelft.nl/~iosup/pcg-g-survey11tomccap\\_rev\\_sub.pdf](http://www.st.ewi.tudelft.nl/~iosup/pcg-g-survey11tomccap_rev_sub.pdf)
- SMELIK, R., TUTENEL, Tim., BIDARRA, R., [et al]. A survey on Procedural Modeling for Virtual Worlds. Modelling, Simulation & Gaming Department, TNO, The Netherlands, Computer Graphics and Visualization Group, Delf University of Technology, The Netherlands. Department of Computer Graphics Technology. Purdue University, USA.
- M. G. MUSGRAVE, F. Procedural landscapes with overhangs. In 10th Portuguese Computer Graphics Meeting. 2001. pp. 33–42.
- OLSEN, J. Realtime Procedural Terrain Generation. Department of Mathematics and Computer Science (IMADA). University of Southern Denmark. 31 october, 2004.
- EMILIE, A., BERNHARDT, A., PEYAVIE, A., [et al]. Procedural Generation of Villages on Arbitrary Terrains, Visual Computer. Springer Verlag. 2012, 28(6-8). pp.809-818.
- PARISH, Y., MÜLLER, P., Procedural Modeling of Cities, ETH Zürich, Switzerland, Central Pictures. Switzerland. [s.n]
- KELLY, G., MCCABE, H., A survey of Procedural Techniques for City Generation, School of Informatics and Engineering. Institute of Technology. Blanchardstown, Dublin 1. Ireland.
- EBERT, D., KENTON, F., PEACHY, D., [et al]. Texturing & Modelling - A Procedural Approach. Morgan Kaufmann. 2003.



- YANNAKAKIS, G., TOGELIUS, J. Experience-Driven Procedural Content Generation.[en línea]. Disponible en: <http://julian.togelius.com/Yannakakis2011Experiencedriven.pdf>
- RUDZICZ, N., VERBRUGGE, C. An Iterated subdivision algorithm for procedural road plan generation. School of Computer Science. McGill University. [s.n]

---

Fecha de recepción  
04/03/2016

Fecha de aceptación  
11/04/2016

Fecha de publicación  
30/09/2016

## Propuesta de modificación del rompeolas del puerto de Ensenada, B.C., analizada mediante un modelo cualitativo.

(Por: Mayra Dolores Martínez Martínez, Rigoberto Guardado France, Miguel Agustín Téllez Duarte, Ángel Raúl Herrera Gutiérrez)

### Resumen

Mediante un modelo físico a escala se analizó cualitativamente el efecto de una propuesta de modificación al rompeolas del puerto de Ensenada, Baja California, para atenuar la agitación del agua dentro de la rada. Las observaciones sugieren que modificar el rompeolas podría cambiar los patrones de corrientes y transporte litoral con posibles resultados adversos al originar un proceso erosivo en la playa municipal. Bajo esta perspectiva, el impacto social sería importante para el principal uso de esta zona, que actualmente es lúdico y de esparcimiento.

Palabras clave: puertos, rompeolas, procesos costeros, transporte litoral

### Abstract

With the aim of minimize wave agitation inside the harbor of Ensenada, Baja California, a proposal of modifying the breakwater is analyzed using a qualitative physical model. Results suggests that breakwater alteration may affect longshore currents and sediment transport patterns, and may cause active erosion in the adjacent public beach. An important social impact could be expected for the recreational and educational value of the beach.

Keywords: harbor, breakwater, coastal processes, longshore sediment transport.

### Introducción

La agitación del agua en recintos portuarios es un problema común en todo el mundo, originando riesgos operativos y de tránsito interno. Este fenómeno es provocado por la oscilación de las olas dentro del puerto debido a factores como: la geometría del puerto o el clima marítimo. Durante episodios de intensa agitación se pueden producir daños por colisiones múltiples tanto en las estructuras del puerto, como entre las embarcaciones que se encuentran atracadas en él<sup>1</sup>.

Los modelos físicos y numéricos de agitación dentro de un puerto son herramientas importantes para su diseño y modificación. En un modelo físico se reproducen a escala reducida las magnitudes más representativas de las variables del sistema o elemento a ensayar (dársena, dique, muelle, oleaje, entre otros), y en el modelo numérico se representan estas variables del sistema utilizando desarrollos matemáticos. Lejos de ser excluyentes, estas herramientas constituyen un conjunto de medios complementarios, cuya aplicación ordenada permite optimizar sus capacidades y utilizar sus sinergias en aras a alcanzar la mejor solución para el problema en estudio<sup>2</sup>.

Los modelos físicos han sido ampliamente utilizados a nivel mundial desde hace varias décadas, con el fin de realizar estudios diversos relacionados con diseños portuarios<sup>3</sup>. Dentro de la gama de aplicaciones de los modelos hidráulicos en problemas portuarios, destaca su uso para analizar la agitación de agua<sup>4</sup>.

Los laboratorios de hidráulica que sobresalen por sus trabajos son: el laboratorio Waterways Experiment Station en Vicksburg, Mississippi, Estados Unidos; Delft Hydraulic Laboratory en Holanda; el Laboratoire Central d'Hydraulique de Francia; y el NEYRPIC Hydraulic Laboratory eb Grenoble, Francia<sup>5</sup>, entre otros. En México, las instituciones que resaltan por su trabajo con este tipo de modelos son la Secretaría de Comunicaciones y Transporte, la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México y el Instituto Politécnico Nacional.





A raíz de la construcción de una nueva terminal en el interior del puerto de Ensenada, B.C., se ha detectado un incremento en la agitación del agua, lo que ha provocado inseguridad en las actividades del puerto<sup>6</sup>, aparentemente como consecuencia de la construcción de una escollera fuera del abrigo del rompeolas principal, ocasionando la reflexión del oleaje al interior del puerto<sup>7</sup>. Basándose en los resultados de un modelo numérico, el mismo autor propone como solución al problema la prolongación del rompeolas principal (400 m con una dirección SE), de tal forma que proteja la escollera que produce la reflexión del oleaje.

Puesto que la modificación de una obra de protección costera puede impactar la dinámica sedimentaria y patrones de corrientes en las cercanías del proyecto, en este trabajo se presentan los resultados obtenidos a partir de los ensayos realizados en un modelo cualitativo a escala, en el cual se modelaron las modificaciones propuestas al rompeolas del puerto de Ensenada, B.C.

## Material y Métodos

### Área de Estudio

El puerto de Ensenada, B.C. está localizado aproximadamente a 100 km al sur de la frontera México-EUA, sobre la margen noroeste de la Bahía de Todos Santos (BTS) (Fig. 1). Es un puerto de altura con un área de 1.98 km<sup>2</sup>, protegido por un rompeolas de 1,640 m de longitud construido con rocas. Limita al norte con playas predominantemente rocosas, intercaladas con algunas playas de bolsillo donde el material va desde arenas hasta cantos rodados<sup>8</sup>. Al sur colinda con una extensa playa arenosa, donde desemboca el arroyo El Gallo<sup>9</sup>.

El puerto ofrece facilidades a buques de carga, pesqueros, turísticos y yates deportivos. Tiene 23 zonas de atraque, de las cuales siete son de uso público y siete áreas de almacenamiento. El canal principal tiene una longitud de 900 m y una profundidad de 13 m. La dársena de ciaboga es de 200 m y, entre 9.5 y 12 m de profundidad<sup>10</sup>.

El procedimiento general consistió en reproducir en el modelo físico los patrones de corrientes y transporte litoral actuales en las inmediaciones del puerto de Ensenada y contrastarlos con los patrones generados al introducir la modificación propuesta por Ortíz Figueroa<sup>7</sup> al rompeolas, con el fin de vislumbrar las posibles alteraciones al patrón de circulación y transporte litoral y, predecir posibles impactos en las inmediaciones.



Figura 1. a) Localización de la Bahía de Todos Santos y puerto de Ensenada, B.C., b) Ampliación del área del puerto, c) Área propuesta para la modificación del rompeolas.

## Modelo Físico Cualitativo

Utilizando como base una imagen satelital obtenida en el portal GOOGLE earth (2/13/2013), se generó un plano (escala 1:2864) que incluía la línea de costa y zona portuaria. Posteriormente se incluyó en el plano la batimetría (profundidad) desde la línea de costa (profundidad cero), hasta la profundidad de 15 m. La información batimétrica fue obtenida a partir de estudios realizados en el 2013.

El modelo físico se construyó en una cuba de 2.50 m de largo, 1.50 m de ancho y 30 cm de alto utilizada con fines docentes en el laboratorio de procesos costeros de la Facultad de Ciencias Marinas. Considerando el espacio disponible el plano se redujo lo necesario para que éste tuviese las mismas dimensiones de la cuba para ser colocado en el fondo de la misma. Tomando en cuenta el alto de la cuba se definió una escala vertical de 1:300. Con base en ésta escala se determinó la altura en centímetros a partir del fondo de la cuba que debería de existir para representar las profundidades plasmadas en el plano. A lo largo de cada línea de profundidad se colocaron, con ayuda de plastilina, palillos de madera con la longitud correspondiente. Una vez hecho esto para todo el plano, se vertió en la cuba arena de duna y se distribuyó de tal manera que al tacto solo se sintiera la punta de los palillos de madera. Posteriormente la superficie se cubrió con tela de fibra de vidrio y resina. Cuando la resina secó, se pintó el modelo de color blanco, se dibujó sobre él una cuadrícula con cuadros de 10 x 10 cm y se enumeraron los mismos con el fin de utilizarlos como referencia en el momento de describir los patrones de corrientes y transporte litoral (Figura 3). Las obras portuarias exteriores (rompeolas, espigón y modificación propuesta) fueron construidas con yeso (a escala) de manera independiente, esto permitió hacer varias corridas en el modelo variando las posiciones de las obras con el fin de reproducir los patrones de circulación y transporte con y sin la presencia de la modificación propuesta.



Figura 2. Construcción del modelo a escala del puerto de Ensenada y zonas aledañas.

## Patrón de corrientes litorales

El patrón de corrientes litorales a reproducir en el modelo se infirió a partir del ángulo de arribo del oleaje a la costa. Para lo cual fue necesario obtener diagramas de refracción del oleaje para las direcciones de arribo de oleaje más comunes en la Bahía de Todos Santos (NW y SW), utilizando la metodología propuesta por el U.S. Coastal Engineering Research Center<sup>11</sup>.



## Patrón de transporte litoral

Se asumió que el patrón de corrientes litorales reflejaba el patrón de transporte litoral. Los patrones inferidos fueron contrastados con los propuestos por Aranda Manteca<sup>12</sup> con el fin de validarlos.



Figura 3. Batimetría y cuadrícula de referencia sobre la zona de estudio.

## Reproducción en el modelo de las corrientes litorales

Una vez definidos los patrones de corrientes litorales en la zona de estudio se utilizaron bombas sumergibles y mangueras para reproducir en el modelo las corrientes litorales. El procedimiento consistió en encender la bomba y colocar las mangueras orientadas de tal forma que generaban un flujo similar al de las corrientes litorales actuales. Con la finalidad de apreciar claramente el patrón de corrientes en el modelo se utilizó un colorante verde en el agua llamado rodamina.

## Reproducción en el modelo del patrón de transporte litoral

Una vez reproducidas las corrientes litorales en el modelo, se apagaba la bomba, se colocaba café de grano molido y nuevamente se encendía la bomba. La trayectoria descrita por el café se considera representativa del patrón de transporte litoral.



## Calibración del modelo

Partiendo de la premisa que el modelo físico es cualitativo, no se escalan magnitudes de tiempo, masa y velocidad. Se consideró que estaba calibrado cuando se reprodujeron los patrones de corrientes y transporte litorales estimados previamente en la zona de estudio.

## Ensayos realizados

Los ensayos se realizaron considerando la configuración actual del rompeolas y la modificación propuesta. Cada ensayo tuvo una duración de 10 minutos, con el fin de poder contrastar las observaciones en un rango de tiempo similar. Se realizaron cuatro ensayos descritos en la tabla 1.

Tabla 1. Ensayos realizados en el modelo físico para determinar el patrón de corrientes y transporte considerando dos condiciones de oleaje y la estructura del rompeolas actual y modificado.

ENSAYO	PATRÓN DE CORRIENTES Y TRANSPORTE LITORAL ASOCIADAS A OLAJE DEL NW		PATRÓN DE CORRIENTES Y TRANSPORTE LITORAL ASOCIADAS A OLAJE DEL SW	
	CONDICIONES ACTUALES	CON MODIFICACIÓN PROPUESTA	CONDICIONES ACTUALES	CON MODIFICACIÓN PROPUESTA
1	X			
2		X		
3			X	
4				X

## Resultados

Los ensayos en el modelo se realizaron considerando que el oleaje que arriba a la BTS en dirección NW es representativo de las condiciones de verano, mientras que el oleaje que arriba con dirección SW de invierno.

### Patrón de corrientes litorales por refracción de oleaje

Durante los meses de junio a septiembre, el patrón de refracción del oleaje muestra que el oleaje arriba a la BTS (Figura 4) principalmente del NW ( $\approx 230^\circ$ ); en tanto que en los meses de octubre a diciembre (Figura 5) el oleaje arriba principalmente del SW ( $\approx 230^\circ$ , SW). En ambos casos las corrientes litorales generadas presentan un patrón similar; hacia el SE desde la zona de arranque hasta frente el rompeolas; mientras que al sur del mismo las corrientes fluyen en dirección NE (Figuras 4 y 5).



Figura 4. Patrón de refracción y corrientes litorales generadas en condiciones de oleaje de verano.



Figura 5. Patrón de refracción y corrientes litorales generadas en condiciones de oleaje de invierno.

### Patrón de transporte litoral en el modelo físico

En este estudio se asume que el patrón de transporte litoral es similar al descrito por las corrientes litorales.

#### Ensayo 1: Oleaje de verano en condiciones actuales

La corriente litoral al igual que el transporte es en dirección SE a partir de la zona de arranque (inicio del rompeolas) del rompeolas hasta el morro (parte distal del rompeolas) del mismo. Parte de la corriente y sedimento penetran a la rada del puerto (Fig. 6), mientras que otra parte de la corriente continúa fluyendo en dirección a la playa municipal. Esta corriente cuando está próxima a la costa se bifurca en dos corrientes; una que fluye en dirección N y una en dirección S. La corriente que fluye en dirección N llega al espigón, donde gira hacia el W y posteriormente al SE, incorporándose nuevamente a la corriente principal en dirección a la playa municipal (Fig. 6). La corriente que fluye en dirección S a lo largo de la playa municipal es débil y en ambos casos el movimiento de sedimento describe el mismo patrón.



Figura 6. Patrón de corrientes y transporte litoral reproduciendo las condiciones de oleaje de verano y el estado actual del rompeolas.

## Ensayo 2: Oleaje de verano modificando el rompeolas

La corriente y transporte litoral fluyen desde el arranque del rompeolas hasta el morro del mismo en dirección SE (Fig. 7), para desviarse en dirección S en el punto donde se modificó el rompeolas. La corriente continúa en esa dirección hasta alcanzar la frontera de la cuba de modelación. El café alcanza a llegar hasta la profundidad (isobata) de 15 m. Lo notable es que no se observan corrientes ni evidencias de transporte tanto a la entrada al puerto como en la zona de la playa municipal.





Figura 7. Patrón de corrientes y transporte litoral en condiciones de oleaje de verano con la modificación al rompeolas.

### Ensayo 3: Oleaje de invierno en condiciones actuales

Bajo estas condiciones no se perciben corrientes o transporte de sedimento significativo frente al rompeolas no siendo así en la zona de la playa municipal. La corriente y transporte litoral en esta zona es en dirección NW hasta alcanzar el espigón donde tanto la corriente como el transporte litoral cambian su sentido en dirección el W y posteriormente al S.





Figura 8. Patrón de corrientes y transporte litoral para dirección de arribo representativo para condiciones de invierno en condiciones actuales.

#### Ensayo 4: Oleaje de invierno con modificación al rompeolas

El comportamiento de la corriente litoral y transporte de sedimento fue similar al del ensayo 3.

#### Discusiones

El uso de modelos físicos implica varios retos, en nuestro caso el más importante fue la limitación de espacio en la cuba de modelación, lo cual no permitió generar corrientes costeras a partir la reproducción de los patrones de oleaje que arriban a la bahía. El problema principal que esto conlleva es la reflexión del oleaje en las paredes, lo que eventualmente genera resonancia en el agua, modificando sustancialmente el comportamiento de las corrientes en la cuba. Para resolver esto, se recurrió al uso de bombas sumergibles y mangueras para reproducir los patrones de corrientes y transporte litoral que ocurren naturalmente. En cuanto al manejo de escalas, las dimensiones del modelo no permiten realizar estimaciones cuantitativas de los procesos que en él se observan, por lo que solamente se pueden hacer inferencias cualitativas, las que se asumen como suficientes para cumplir el objetivo de este estudio. Esto se corroboró, ya que los patrones de corrientes y transporte litoral obtenidos de análisis de refracción para oleaje típico de verano e invierno concuerdan con los reportados por Aranda Manteca<sup>12</sup>.

Al iniciar las pruebas en la cuba se hizo evidente la necesidad de utilizar un trazador para identificar el patrón de las corrientes, por lo que previamente se utilizaron pequeños flotadores de hule espuma. Sin embargo, por las irregularidades del modelo, estos se atoraban y, se decidió utilizar un colorante de rodamina (proporciona un color verde fluorescente a la masa de agua), lo que permitió apreciar claramente la trayectoria del flujo. Para identificar patrones de transporte litoral primeramente se utilizó sedimento de duna. Esto resultó impráctico porque



se requería generar corrientes de gran magnitud para iniciar el movimiento de los granos, por lo que se optó por utilizar café de grano molido y lavado hasta que no se decolorara. Debido a la baja densidad de este material es más fácil ponerlo en movimiento para identificar la dirección de transporte del sedimento. Cabe mencionar que al reproducir en el modelo los patrones de corrientes y transporte litoral característicos en la zona de estudio previo a su modificación, confirma la utilidad del mismo para evaluar las posibles alteraciones de dichos patrones una vez que se ensaye con la transformación propuesta del rompeolas.

En el primer ensayo donde se replicaron las condiciones de verano y la configuración actual del rompeolas, la corriente que inicia en el arranque del rompeolas y que fluye en dirección SE eventualmente llega a la zona de la playa municipal, donde se bifurca para formar una corriente que fluye al NW y otra hacia el SE. Bajo este patrón resulta en un aporte y distribución de sedimento a lo largo de la playa. Este resultado no concuerda con lo reportado por Cruz Colín<sup>13</sup>, quién menciona que la corriente y sedimento que fluye a lo largo del rompeolas en dirección SE ingresa en su totalidad a la rada portuaria. Sin embargo, el estudio de Aranda Manteca<sup>12</sup> concuerda con los resultados observados en el modelo físico, lo que refuerza la hipótesis de un aporte sedimentario a la Playa Municipal asociado a esta corriente.

Para las mismas condiciones y modificando el rompeolas, ocurre un cambio en la dirección de la corriente a partir de la punta del mismo, de donde sigue una trayectoria hacia el sur franco, evitando que tanto la corriente litoral como el sedimento transportado arriben a la Playa Municipal. De acuerdo a Cruz Colín<sup>13</sup>, en la celda litoral donde se encuentra ubicada dicha playa, el suministro de sedimento por los arroyos Ensenada (33,569.87 m<sup>3</sup>/año) y El Gallo (17,464.70 m<sup>3</sup>/año), la boca del Estero de Punta Banda (63,618.00 m<sup>3</sup>/año) y el transporte eólico (72.08 m<sup>3</sup>/año), equivalen a un aporte de aproximadamente 114,724.65 m<sup>3</sup>/año. Las estadísticas indican que durante los últimos 5 años no se han presentado precipitaciones importantes, lo que significa que los aportes de los arroyos han sido prácticamente nulos y en este sentido, el volumen total aportado a la celda se reduciría a 63,690.08 m<sup>3</sup>/año. El mismo autor también reporta que el volumen de sedimento que sale de la misma celda es de 63,557.31 m<sup>3</sup>/año lo que significa que bajo estas condiciones el balance sedimentario es prácticamente 0 m<sup>3</sup>/año.

Si la celda tiene este balance, la modificación propuesta al rompeolas no permitiría o disminuiría sensiblemente el aporte sedimentario a la zona de la Playa Municipal, ya que esta corriente con flujo al SE a lo largo del rompeolas, de acuerdo al modelo alimenta la playa, y al desviarse daría lugar a un balance negativo que se podría traducirse en su erosión. Ante esta perspectiva, es de esperar una reducción en el ancho de la playa significaría comprometer sus tres funciones básicas: 1) Defensa de costa, 2) Hábitat para la flora y fauna silvestre y 3) Zona de esparcimiento y uso público. Como defensa de costa, se espera los procesos normales y extremos de oleaje la modelen de tal forma que su energía no llegue a dañar los bienes existentes tras de ella. Como hábitat de flora y fauna, en sus diferentes zonas (seca, húmeda y sumergida), al ser una zona de transición océano-tierra es un ecosistema frágil y de importante valor ecológico que hay que preservar y, en su caso, recuperar. Como zona de esparcimiento y uso público, la playa es el sitio por excelencia para el disfrute y bienestar de la población, especialmente en zonas urbanas, donde su uso lúdico y de ocio son las actividades primordiales prácticamente durante todo el año<sup>14</sup>. Por tanto, de acuerdo a los resultados del modelo, cabría esperar un impacto alto en caso de que se reduzca el ancho de la Playa Municipal de Ensenada como resultado de un proceso erosivo, máxime que de acuerdo a la percepción de usuarios es altamente valorada por las actividades de esparcimiento que en ella se realizan<sup>15</sup>.

Por otro lado, en condiciones de invierno, tanto en el estado actual como modificando el rompeolas, la corriente y transporte fluyen en dirección noroeste paralelo a la Playa Municipal hasta incidir en el espigón, sugiriendo así que la modificación propuesta no alteraría los patrones de corrientes y transporte litoral en la zona de la Playa Municipal.

Por tanto, aparentemente la propuesta de modificación del rompeolas del puerto de Ensenada como una alternativa para reducir la agitación del agua dentro de la rada, se basó en un análisis del comportamiento del oleaje y la simulación de su propagación al interior de la rada, pero no consideró el posible impacto en los patrones de corrientes y transporte litoral. Por ello, la modelación mediante un prototipo que simule los patrones actuales y esperados de corrientes y el transporte litoral bajo condiciones de oleaje de verano e invierno (Modelo Físico), proporciona una alternativa económica para prever las posibles consecuencias de modificar una obra de protección costera.

## Conclusión

Las observaciones realizadas en un modelo físico cualitativo del puerto de Ensenada, B.C. sugieren que la modificación del rompeolas para disminuir la agitación del agua dentro de la rada podría generar modificaciones en el patrón de corrientes y transporte litoral, que eventualmente resultaría en un proceso erosivo en la Playa Municipal.

## Referencias

1. TOUS CLOTS, Xavier. "Monitorización y análisis de agitación portuaria. Un caso práctico" Tesina. Universitat Politècnica de Catalunya, España, [en línea] 2012 [fecha de consulta: 23 de agosto de 2016]. Disponible en: <http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/16482>.
2. MEDINA ENRÍQUEZ, Pablo. "Anteproyecto de un Modelo Hidráulico del puerto del Sauzal". Tesis. México: Facultad de Ciencias Marinas, 1993.
3. GUTIERREZ SERRET, Ma., LOZANO PEDROCHE, Ramón, ATIENZA, José y Raúl. LOS MODELOS FÍSICOS A ESCALA REDUCIDA Y LA SIMULACIÓN DE MANIOBRAS DE BUQUES. HERRAMIENTAS PARA EL DISEÑO PORTUARIO. [en línea] 2003 [fecha de consulta: 23 de agosto de 2016]. Disponible en: <http://www.oas.org/cip/docs/lacomision/reunionespasadas/ordinarias/3reunionmexico2003/15modelosfise-scalaredudoc12703.pdf>
4. LOSADA J., Iñigo y LIU F.L., Philip. Modelos matemáticos y numéricos para el estudio de la agitación portuaria. Estudios e Investigaciones Marinas, 1(1): 47-67, 2000. ISSN: 1578-2247.
5. QUINN, A., Design and Construction of Ports and Marine Structures. Mc Graw Hill Book Company, New York 1972.
6. INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE. Boletín NOTAS. [en línea] 2016 Número 124, pp.17. Disponible en: <http://www.imt.mx/archivos/Boletines/Nota124.pdf>.
7. ORTÍZ FIGUEROA, Modesto. "Agitación por Oleaje en el Puerto de Ensenada, Baja California México: Medidas de Atenuación". GEOS 29(2):244-249, [en línea] 2009. ISSN: 0186-1891. [fecha de consulta: 23 de agosto de 2016]. Disponible en: <http://www.ugm.org.mx/publicaciones/geos/pdf/geos09-2/240.pdf>
8. VAN DOOREN OSIO, Karina. "Cuantificación del volumen de sedimento depositado frente al rompeolas (lado no protegido) del puerto de Ensenada, B.C." Tesis. México: Facultad de Ciencias Marinas, 1991.
9. JIMÉNEZ PÉREZ., Luis Clemente, MOLINA PERALTA, Fernando y NUÑEZ FERNÁNDEZ, Esperanza. "Efectos de las aguas residuales sobre la macrofauna bentónica de playas arenosas en la Bahía de Todos Santos". Ciencias Marinas, 18(1): 35-54, 1992. ISSN: 2395-9053.
10. TORRES RODRÍGUEZ, Jorge y GÓMEZ-MORÍN FUENTES, Lorenzo. "Estimación cuantitativa y cualitativa de azolvamiento en el puerto de Ensenada, B.C., México". Ciencias Marinas, 15(4): 39-50, 1989. ISSN: 2395-9053.
11. U.S. COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER. Shore Protection Manual Vol. I. Washington, D.C. 1984.
12. ARANDA MANTECA, Francisco Javier. Estudio de minerales pesados como trazadores de la corriente litoral en la Bahía de Todos Santos. B.C. Licenciatura. Escuela Superior de Ciencias Marinas, 1983.
13. CRUZ COLÍN, María Esther. Balance sedimentario en la Bahía de Todos Santos, B.C., Licenciatura. México, Facultad de Ciencias Marinas, 1994.
14. MINISTERIO DEL AMBIENTE. "Directrices sobre Actuaciones en Playas". Secretaría General Para el Territorio Nacional [en línea] [fecha de consulta: 23 de agosto de 2016]. Disponible en: [http://www.magrama.gob.es/es/costas/publicaciones/directrices\\_sobre\\_playas\\_tcm7-153279.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/costas/publicaciones/directrices_sobre_playas_tcm7-153279.pdf)
15. LUBINSKY, Denisse., NELVA, Victoria, CERVANTES, Omar, ESPINOZA T., Alejandro, DELHUMEAU, Sheila y ESPEJEL, Iliana. El valor de dos playas turísticas de Ensenada, Baja California según la percepción de los usuarios. Revista de Medio Ambiente, Turismo y Sustentabilidad 2(2): 45-56, 2009. ISSN: 1870-1515.

Fecha de recepción  
09/08/2016

Fecha de aceptación  
23/08/2016

Fecha de publicación  
30/09/2016



## El nuevo mercado eléctrico mayorista en México. Aspectos de la Reforma Eléctrica: Un panorama diferente

(Por: Francisco Noyola González)

### Resumen

La Reforma Energética y en particular, lo referente al sector eléctrico trajo como consecuencia la creación de un Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) que permitirá a empresas privadas participar en la generación de electricidad y ofertarla en el mercado. A través de mecanismos reguladores permitidos para el sector eléctrico, por la Ley de la Industria Eléctrica (LIE), los usuarios denominados calificados, podrán adquirir energía eléctrica al proveedor que más les convenga y que esté disponible; es decir, habrá una oferta de energía eléctrica y habrá una demanda que cubrir. A nivel mundial se ha presentado un proceso de cambio estructural en la organización industrial de los sectores eléctricos. Dichas tendencias tienen como objetivo principal el transformar una industria monopolista verticalmente integrada, en una organización industrial en donde se ha introducido competencia en las actividades que lo permiten.

Palabras clave: Reforma Energética, Mercado Eléctrico Mayorista, Generación de electricidad, Ley de la Industria Eléctrica.

### Abstract

The wholesale electricity market in New Mexico. Aspects of electricity reform: A new view.

Energy reform, particularly as regards the electricity sector, resulted in the creation of a wholesale electricity market (MEM); which will allow private companies to participate in generating electricity and supplying that market, where through regulatory mechanisms allowed by the law of the electricity Industry (LIE), users labeled as qualified, may purchase electricity from the supplier that suits them and is available, as it will be an electricity supply and also a demand to cover. Globally there has been a process of structural change in the industrial organization of the electricity sectors. These trends are aimed to transform a vertically integrated monopoly industry, into an industrial organization where competition has been introduced in activities that allow it.

Keywords: Energy Reform, Market Wholesale Electricity, Electricity Generation, Electric Industry Lay.

### Introducción

En México, durante muchos años la generación de electricidad estuvo de manera exclusiva a cargo de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), entidad que por mandato constitucional fue la encargada de generar, transmitir, distribuir y comercializar la energía eléctrica desde la nacionalización de la industria en el gobierno de Adolfo López Mateos en 1964, a través de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE).

Históricamente, la generación de energía eléctrica estuvo a cargo exclusivamente del Estado; es decir, a través de empresas públicas, la actividad era desarrollada como un monopolio natural, como un servicio prioritario y fundamental para las actividades económicas. No solamente la actividad de generación de electricidad, sino también el proceso completo hasta los usuarios finales, tales como la transmisión en alta tensión, la distribución en media tensión y su comercialización en baja tensión a los usuarios finales.

En el año 2014, producto de una reforma integral al sector energético en México, se modificó el esquema anterior, dando lugar a la participación de empresas privadas en el proceso de generación de energía eléctrica con la publicación de la nueva Ley de la Industria Eléctrica. Esto ya sucedía desde el sexenio del presidente Carlos Salinas de Gortari cuando se permitió la generación de energía eléctrica a empresas privadas, denominadas Productores

Independientes de Energía (PIE), a través de contratos que vendían la energía eléctrica de manera exclusiva a la CFE, en un plazo determinado. Esto sucedió sin reformar la Constitución Mexicana, gracias a una interpretación diferente a lo que significaba servicio público, dado que la CFE era el organismo exclusivo.

La Reforma Energética y en particular lo referente al sector eléctrico, trajo como consecuencia la creación de un Mercado Eléctrico Mayorista (MEM), que permitirá a empresas privadas participar en la generación de electricidad y ofertarla en el mercado, donde a través de mecanismos reguladores permitidos para el sector eléctrico en la denominada Ley de la Industria Eléctrica (LIE)<sup>1</sup>, los usuarios denominados calificados, podrán adquirir energía eléctrica al proveedor que más les convenga y que esté disponible; es decir, habrá una oferta de energía eléctrica y una demanda que cubrir.

La Reforma Eléctrica no contempla la desaparición de la CFE, sino que esta, a través de un nuevo estatuto jurídico, se transforma en una empresa denominada *Empresa productiva del Estado*, que participará como una empresa más en el mercado pero conservando sus activos de generación, es decir, las plantas de generación: hidroeléctricas, termoeléctricas, geotérmicas, eólicas y la nuclear. La ley no considera privatizar las redes de transmisión ni de distribución sino que estarán operadas por un nuevo organismo autónomo denominado Centro Nacional de Control de Energía (CENACE), quien será el encargado de operar el sistema eléctrico en las condiciones de continuidad, seguridad y eficiencia técnica y económica, con imparcialidad para permitir el libre acceso a la red eléctrica de las empresas privadas, siendo esto una condición necesaria para tener un mercado competitivo de energía eléctrica. Las redes de transmisión seguirán estando en manos del Estado para salvaguardar la seguridad y operabilidad del sistema eléctrico, sin menoscabo para la ampliación de las redes de transmisión dado que pueden darse asociaciones con inversionistas privados. El mercado estará regulado y supervisado por la Secretaría de Energía y un organismo denominado Comisión Reguladora de Energía (CRE), quien publicará las reglas del nuevo mercado mayorista de electricidad y su cumplimiento por las participantes. Esta Comisión tendrá a su vez la responsabilidad de fijar las tarifas para transmisión de la energía eléctrica a través de la red eléctrica.

En Latinoamérica, Chile introdujo el proceso de modernización en la región y algunos opinan que tuvo un impacto mundial, al instituir el primer modelo de regulación, al igual que la apertura del sector eléctrico para atraer inversionistas extranjeros<sup>2</sup>. Tradicionalmente las empresas públicas han sido consideradas como ineficientes en el uso de los recursos, y en ocasiones, hasta como una carga financiera. Bajo estas consideraciones, durante la década de los ochenta, en el mundo empezó un proceso de desregulación en los sectores eléctricos de los diferentes países para pasar gradualmente de empresas públicas a empresas privadas en el proceso de generación de electricidad; se creó competencia en este ámbito, y de alguna manera, se generó también un mercado eléctrico para las empresas participantes. Este fenómeno es lo que sucedió en México, se pretende favorecer la competencia, veremos si se logra, dado que no es una apertura total del sistema eléctrico, porque la regulación del mercado en su operación y la administración queda en manos del Estado mexicano. Este es un factor a considerar por las empresas participantes en el mercado, ya que podría darse el caso de parcialidades en la operación; es decir, de la preferencia de un productor sobre otro.

A nivel mundial se ha presentado un proceso de cambio estructural en la organización industrial de los sectores eléctricos. Dichas tendencias tienen como objetivo principal, el transformar una industria monopolista verticalmente integrada, en una organización industrial en donde se ha introducido competencia en las actividades que lo permiten. Asimismo, se ha pretendido simular condiciones de competencia en las actividades que representan monopolios naturales a través de la regulación económica. Es decir, la transformación del sector eléctrico ha tendido al concepto de mercado en el más puro sentido de la palabra. Prueba de lo anterior es que los esquemas competitivos se privilegian a efectos de generar eficiencias en continuidad y calidad del suministro, así como en las tarifas que acaba cubriendo el consumidor final<sup>3</sup>.

## Objetivo

Analizar las principales características que tendrá el nuevo Mercado Eléctrico Mayorista en México.





## Planteamiento del problema

La estrategia representa el eje de dirección para el desarrollo de la empresa a largo plazo y se dirige a la ampliación del abanico de posibilidades de crecimiento y diversificación de la empresa<sup>4</sup>. La estrategia competitiva consiste en desarrollar una fórmula de cómo la empresa va a competir, cuáles deben ser sus objetivos y qué políticas serán necesarias para alcanzarlos y que pueden definirse en el nivel corporativo, de negocios y funcional donde cada uno establece su propia instrumentación para conseguir los objetivos pretendidos<sup>4</sup>.

El MEM permite básicamente dos tipos de contratos que son bilaterales y de corto plazo: los bilaterales son de largo plazo y se negocian directamente entre productor y consumidor y se ajustan las condiciones que ambos convengan. El mercado spot es de corto plazo y tiene riesgos inherentes a las condiciones diarias de mercado, principalmente en lo relativo a los precios. Es necesario entonces implementar estrategias que optimicen la participación del generador en las opciones que ofrece el mercado eléctrico<sup>5</sup>.

De acuerdo a lo anterior y a lo inédito del MEM en México, el presente trabajo de investigación pretende determinar cómo es la asociación entre la tecnología que se usa en la generación de electricidad, la estructura de la organización y las necesidades del mercado, considerando que el producto ofertado, se produce en el instante en que lo requiere el consumidor final. Esto ocasiona un gran desafío administrativo, económico y tecnológico por la forma en que se analizarán las variables mencionadas, por ello, se puede plantear la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuáles son las estrategias de generación de electricidad que logran mayores ventajas competitivas en un Mercado Eléctrico Mayorista?

## Método de trabajo

Fundamentalmente el trabajo es de tipo documental-descriptivo con un enfoque principalmente cualitativo, ya que se pretende conocer la realidad fenoménica de este nuevo panorama que ofrece el sector eléctrico mexicano. Se parte del contexto histórico y legal que nos proporciona la nueva Ley de la Industria Eléctrica que describe de manera general como operará el nuevo mercado, que restricciones tendrá en cuanto a su operación, la continuidad y la seguridad del sistema eléctrico.

## Resultados

Los resultados de la apertura al sector eléctrico mexicano, se verán a mediano y largo plazo, una vez que se haga la transición a los organismos reguladores como la Comisión Reguladora de Energía (CRE) y el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE), como los señala la LIE. Estos resultados seguramente se relacionarán con la competitividad de las empresas participantes del mercado; asimismo, el libre acceso y no discriminatorio a los sistemas de transmisión y distribución de energía permitirán a las empresas participar en igualdad de circunstancias. Como se verá más adelante, el crecimiento estimado de la demanda de energía eléctrica para los próximos quince años será tal que se requerirán inversiones muy fuertes en el sector; de tal manera, que un análisis prospectivo les permitirá a los participantes del mercado planear las inversiones que el mercado esté dispuesto a aceptar.

¿Qué resultados se esperan con esta apertura? Eficiencia técnica y económica del sector eléctrico, continuidad y seguridad del servicio, crecimiento de la demanda y mantener las reservas de generación suficientes y la libre competencia entre los participantes sin barreras de entrada ni privilegios para alguna empresa generadora.

También se esperan oportunidades para los particulares en la parte de autoabastecimiento en la generación de electricidad. Los resultados esperados serán en función de los proyectos que se autoricen, y como indica el POISE, las oportunidades proyectadas para los particulares en proyectos de generación de electricidad como proyección al 2026 es como sigue:

De acuerdo con el estudio sobre el desarrollo del mercado eléctrico, durante 2010 la generación de autoabastecimiento fue de 26.2 TWh; mientras la del 2009, fue de 23.7 TWh. Se estima que durante 2011-2015, el modo de

producción crecerá hasta alcanzar 36.5 TWh y a 2026 será de 47.1 TWh. El programa de expansión definido en este documento constituye la referencia para las adiciones de capacidad al sistema de generación, que podrán satisfacerse mediante proyectos desarrollados y operados por CFE o particulares, conforme a la modalidad prevista en la LSPEE<sup>6</sup>.

## Discusión

### Aspectos del Mercado Eléctrico Mayorista en México

En México, la infraestructura de generación de electricidad según el Informe Anual 2015 de la CFE, muestra que la capacidad efectiva de generación de electricidad fue de 54,852.2 MW, de los cuales 41,899.4 MW corresponden a generación de la CFE y 12,952.8 MW, corresponden a los PIE (Productores Independientes de Energía), que corresponde al 23.61 % de la capacidad total. Ver Cuadro 1 .

Cuadro 1

Capacidad efectiva de generación							
Generador	Tipo de tecnología	Capacidad efectiva (MW)		Número de Centrales y de Unidades en 2015		Participación porcentual por tecnología	Variación 2014-2015 (%)
		2014	2015	Centrales	Unidades		
CFE	Hidroeléctrica	12,268.8	12,027.8	62	176	21.9	-2.0
	Vapor (combustóleo y gas)	11,398.6	11,398.6	21	72	20.8	0.0
	Ciclo combinado	7,566.6	7,578.3	15	68	13.8	0.2
	Carboeléctrica	5,378.4	5,378.4	3	15	9.8	0.0
	Turbogás	2,303.4	2,736.5	41	94	5.0	18.8
	Geotermoeléctrica	813.4	873.6	4	40	1.6	7.4
	Combustión interna	302.4	303.9	7	56	0.5	0.5
	Eoloeléctrica	86.3	86.3	3	8	0.2	0.0
	Solar fotovoltaica	6.0	6.0	2	2	0.0	0.0
	Nucleoeléctrica	1,400.0	1,510.0	1	2	2.8	7.9
<b>Total CFE</b>	-	<b>41,523.9</b>	<b>41,899.4</b>	159	533	<b>76.4</b>	<b>0.9</b>

3 La generación de los Productores Independientes se vende exclusivamente a la CFE en virtud de la legislación con la que fueron contratados (Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica).

Generador	Tipo de tecnología	Capacidad efectiva (MW)		Número de Centrales y de Unidades en 2015		Participación porcentual por tecnología	Variación 2014-2015 (%)
		2014	2015	Centrales	Unidades		
Productores Independientes de Energía (PIE)	Ciclo Combinado	12,339.9	12,339.9	23	77	22.5	0
	Eoloeléctrica	510.9	612.9	6	410	1.1	20
<b>Total PIE</b>	-	<b>12,850.8</b>	<b>12,952.8</b>	29	487	<b>23.6</b>	<b>0.8</b>
<b>Total</b>	-	<b>54,374.7</b>	<b>54,852.2</b>	<b>188</b>	<b>1,020</b>	<b>100</b>	<b>0.9</b>

Fuente: Dirección de Operación, Comisión Federal de Electricidad. Diciembre 2015. Cifras redondeadas. Incluye plantas móviles

Como se puede observar la capacidad de generación de electricidad a disposición de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) se diversifica en tipos diez de tecnología: vapor (combustóleo y gas), carboeléctrica, geotermoeléctrica, ciclo combinado, turbogás, combustión interna, hidroeléctrica, eoloeléctrica, nucleoeléctrica y solar fotovoltaica (Informe Anual CFE, 2015)<sup>7</sup>. La tecnología utilizada por los productores independientes son dos solamente: ciclo combinado y eoloeléctrica, lo cual muestra que la capacidad de generación está fundada principalmente en la tecnología de ciclo combinado basada con turbinas que queman gas natural. (Consideradas dentro de la termoeléctricas).

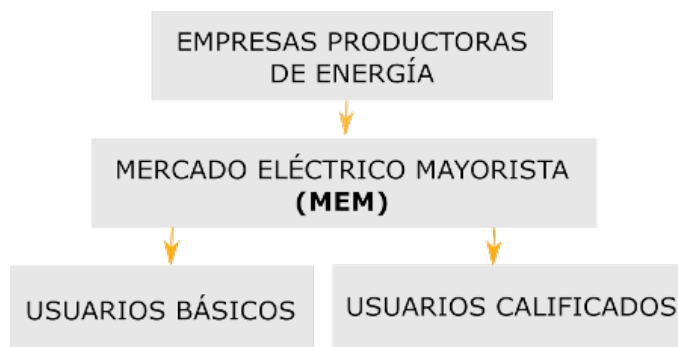




El Mercado Eléctrico Mayorista principalmente agrupará a los actuales productores independientes de energía con la tecnología de ciclo combinado y la energía eólica en un menor grado. Es importante recalcar que la CFE con todas las plantas que están operando actualmente será una empresa más que participará en el MEM; por lo que tendrá una presencia preponderante en el mercado.

En el siguiente cuadro se muestra la forma simplificada en que operará el MEM:

Cuadro 2: Operación del Mercado Eléctrico Mayorista



Elaboración propia, con información de la Ley de la Industria Eléctrica.

Los principales aspectos del nuevo marco regulatorio del sector eléctrico son:

La nueva regulación tiene como objetivo crear un sector eléctrico eficiente, seguro, limpio y con precios competitivos; para lograrlo es importante incentivar la competencia en todos los eslabones de la cadena. Los principales aspectos de la nueva regulación son:

- Se abandona el modelo del monopolio verticalmente integrado que conformaba la Comisión Federal de Electricidad y se propone la desintegración vertical de las actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización, donde figura un esquema de mercado competitivo impulsado por la oferta y demanda de energía.
- La creación de un Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) donde los grandes compradores y los Generadores realicen transacciones día a día de energía eléctrica y demás Productos Asociados que se requieren para el funcionamiento del Sistema Eléctrico Nacional.
- Se fomenta la libertad contractual entre actores a través de Contratos de Cobertura Eléctrica, de forma que estos puedan realizar transacciones de electricidad o cualquier Producto Asociado pactando el precio y el periodo de tiempo que mejor se adapten a su modelo de negocio<sup>8</sup>.

Asimismo, el artículo 96 de la Ley de la Industria Eléctrica señala de manera general, las reglas del mercado que establecerán los procedimientos que permitan realizar al menos las transacciones de compraventa relacionadas a:

- i. Energía eléctrica
- ii. Servicios conexos que se incluyan en el Mercado Eléctrico Mayorista
- iii. Potencia o cualquier otro producto que garantice la suficiencia de recursos para satisfacer la demanda eléctrica
- iv. Los productos anteriores, vía importación o exportación
- v. Derechos financieros de transmisión
- vi. Certificados de energías limpias
- vii. Los demás productos, derechos de cobro y penalizaciones que se requieran para el funcionamiento eficiente del Sistema Eléctrico Nacional

Asimismo, las Reglas del Mercado establecerán los requisitos mínimos para ser participante del mercado, determinarán los derechos y obligaciones de los participantes del mercado y definirán mecanismos para la resolución de controversias.

Esto confirma que el nuevo Mercado Eléctrico Mayorista cuenta con diversos instrumentos que los participantes pueden utilizar para ser más atractivos desde el punto de vista financiero y promover mayor competencia, pero que será regulado en cuanto a su operación técnica y a las reglas de competencia comercial y financiera; ya que el funcionamiento del Sistema Eléctrico Nacional, se considera de interés social y de orden público, como se señala en el artículo 1 de la LIE.

También, como se mencionó anteriormente, uno de los objetivos de la nueva regulación es la competitividad del mercado a través de la libre contratación de los consumidores calificados con los productores de su elección.

Es importante considerar que el nuevo mercado eléctrico tiene un enorme potencial de crecimiento, ya que acorde con el Programa de Obras e Inversión del Sector Eléctrico (POISE)<sup>6</sup>, elaborado por la Secretaría de Energía para el periodo 2012-2016, se prevé un aumento de la demanda de consumo eléctrico del 4% anual. En un escenario considerado dentro de quince años, daría un aumento en la capacidad de generación de 44,532 MW de la siguiente manera: 8531 MW en plantas hidroeléctricas, geotermoeléctricas, eoloeeléctricas y solares, 1448 MW en unidades turbogás y de combustión interna, 27015 MW en centrales de ciclo combinado a gas natural, así como 7000 MW con nuevas tecnologías de generación limpia. En el total se incluye capacidad en construcción y de incrementos por proyectos.

¿Cuáles serían entonces las estrategias que permitirían a las empresas participantes del mercado eléctrico ser competitivas? Estas dependerían principalmente de la capacidad instalada de generación, de la tecnología a utilizar para ofertar la energía eléctrica de manera oportuna, acorde a las demandas del mercado y de su estructura organizativa; ya que la competitividad de las empresas será un factor muy importante en el éxito en el mercado.

## Conclusiones

El Mercado Eléctrico Mayorista tiene como objetivo principal la eficiencia del sistema eléctrico nacional, fomentando la competitividad empresarial entre las empresas productoras de energía incentivando la participación de inversionistas en el nuevo mercado, así como la integración de otros sectores a la cadena productiva de generación que fomente el desarrollo de la industria. Se observa a partir de los datos del POISE, que es un mercado atractivo con grandes oportunidades de inversión en los nuevos proyectos.

El nuevo mercado eléctrico permitirá la generación de energía limpias, lo cual es una gran oportunidad de negocio para los participantes, ya que a través de los certificados de energías limpias podrán cumplir con los requisitos asociados al consumo de los centros de carga.

Habría que esperar que el MEM opere con transparencia, sin intereses particulares, que den las mismas oportunidades y de acceso a las empresas participantes.

Queda abierta para otras aportaciones, el análisis detallado de las diferentes estrategias de mercado para la operación de empresas generadoras.

## Referencias

1. México. Ley de la Industria Eléctrica. Diario Oficial de la Federación.
2. DÍAZ-BAUTISTA, Alejandro. Experiencias internacionales en la desregulación eléctrica y el sector eléctrico en México. 1ª. Ed, Tijuana: El Colegio de la Frontera Norte; Plaza y Valdés, 2005. 257 p. ISBN: 970-722-357-X
3. KNIRSCH, S. y TOVAR, E. Cuadernos de Energía No.43 Edición de noviembre de 2014.
4. DEMUNER, M y MERCADO, P. Estrategia competitiva y Tecnología de la Estructura Productiva en PyMES Manufactureras de Autopartes del Estado de México. Estudio de Caso Múltiple. Panorama Socioeconómico, Vol. 29, (42): 4-22, 2011.
5. ARIAS, J.D. y SALAZAR, H. Una estrategia de participación para una planta de generación en el mercado eléctrico colombiano. Ingeniería y Ciencia, Vol. 10, (20): 161-180. Julio-diciembre 2014.
6. POISE, Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico para el periodo 2012-20126 [en línea]. Publicado por la Secretaría de Energía. [ref. 18 de agosto de 2016]. Disponible en: [www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx)
7. Informe Anual 2015 de la CFE [en línea]. [ref. 18 de agosto de 2016]. Disponible en: [www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx)



8. Comisión Reguladora de Energía. Preguntas frecuentes [en línea] 2016. [ref. 18 de agosto de 2016]. Disponible en: [www.cre.gob.mx](http://www.cre.gob.mx)

---

Fecha de recepción  
18/08/2016

Fecha de aceptación  
01/09/2016

Fecha de publicación  
30/09/2016

## Los estilos de aprendizaje, una revisión desde la neuropsicología

(Por: Jessica Sandoval Palomares)

### Resumen

La neuropsicología sostiene que para que el conocimiento alcance la metacognición debe poseer un valor y una significancia para el individuo; por lo tanto, los métodos de enseñanza que utilice el profesorado deberán considerar los distintos procedimientos y estrategias del alumnado para aprender y adquirir los conocimientos, en conjunto con las características propias del entorno. La finalidad del presente trabajo es, desde el punto de vista de las neurociencias, apoyar al docente a entender cómo el alumnado recibe, procesa y transforma la información que recibe del medio, y a partir de dicho conocimiento, pueda diseñar e implementar estrategias que faciliten el aprendizaje desde este enfoque.

Palabras clave: Estilos de aprendizaje, aprendizaje, neuropsicología.

### Abstract

In neuropsychology argues that for the knowledge to reach metacognition should have a value and significance for the individual. Therefore, the teaching methods used by the teachers in the classroom, should consider the different strategies of the students to learn and acquire the knowledge, together with the characteristics of the environment. The purpose of this article is to provide a support line to the teachers to enable them through a point of view of neuroscience, understand how students receive, process and transform information, in order to generate strategies to facilitate the acquisition of knowledge from this approach.

Keywords: Learning Styles, learning, neuropsychology.

### Desarrollo

La enseñanza centrada en el aprendizaje favorece que los/las docentes en el aula diseñen, incorporen y difundan diversas acciones (metodologías) que lleven al estudiantado a asumir, construir, apropiarse y transformar la información para facilitar la comprensión de los diversos contenidos académicos. Este proceso modifica la visión que se tiene del proceso de enseñanza- aprendizaje, ya que toma en cuenta que cada persona es única y aprende de forma diferente, que posee un potencial, conocimientos y experiencias distintas; es decir, un propio estilo de aprendizaje, a partir del cual percibe y procesa la información recibida del medio para transformarla, utiliza estrategias o métodos particulares que pueden ser iguales y/o diferentes del resto de sus compañeros/as.

Para los/las docentes, es evidente que no todo el estudiantado aprende de la misma manera, forma y velocidad, - lo observan claramente en el grupo cuando estudian la misma materia, partiendo del mismo nivel-; al poco tiempo existen grandes diferencias en la adquisición y en la comprensión de los conocimientos de cada uno/a de los estudiantes, notan que aprenden de manera distinta, tienen dudas diferentes y avanzan más fácilmente en unas áreas que en otras, considerando que todos/as han recibido aparentemente los mismos contenidos, explicación y realizado las mismas actividades o ejercicios.

El concepto de estilos de aprendizaje está directamente relacionado con la definición del aprendizaje como un proceso activo que provoca cambios en la persona, por lo que se modifica la conceptualización de dicho proceso, se pasa de considerar al estudiante como alguien que recibe la información de forma pasiva y que no es relevante lo que piense o haga; se hace cambio del paradigma, en donde se tiene en cuenta a la persona como un dinámico receptor de información, que elaborará, cuestionará y relacionará los datos recibidos en función de sus propias características personales.

Clarificar el concepto de estilos aprendizaje se vuelve una tarea fundamental para determinar el rumbo del



trabajo académico del docente. Al respecto, los autores Alonso y Honey<sup>1</sup> mencionan lo siguiente: "Los estilos de aprendizaje son los rasgos cognitivos, afectivos y fisiológicos que sirven como indicadores relativamente estables de cómo los alumnos perciben las interacciones y responden a sus ambientes de aprendizaje", es decir, cómo los/ las estudiantes estructuran los contenidos, forman y utilizan los conceptos, interpretan la información, resuelven los problemas, seleccionan medios de representación sensorial (visual, auditivo y/o kinestésico), incluyendo las motivaciones, expectativas y los aspectos fisiológicos como es el hambre, el sueño y la vigilia.

Para Ellis, la neuropsicología cognitiva<sup>2</sup> es considerada como "la ciencia que investiga y trata de comprender y explicar las relaciones entre el cerebro, las actividades mentales superiores y el comportamiento del hombre", y su propósito es proporcionar la base teórica y funcional de los estilos de aprendizaje, ya que considera que el conocimiento del cómo aprende el cerebro tendrá un gran impacto en la educación porque comprendiendo los mecanismos cerebrales que facilitan el aprendizaje, la memoria, los efectos de la genética, el entorno, la emoción y la edad, el profesorado podrá transformar las estrategias educativas y planear programas que estén acordes a las necesidades individuales.

Las funciones específicas de la neocorteza conocidas como funciones cognitivas y ejecutivas, brindan la respuesta a la pregunta ¿por qué se aprende? La explicación desde el punto de vista estrictamente neurobiológico, es que se aprende aquello que es capaz de guardarse en la memoria a largo plazo, siempre y cuando cuente con las características de valor y significación, lo que depende esencialmente de las metas y propósitos del individuo, que provocan que se estimulen los procesos atencionales para que la atención se focalice y se detenga en el objeto, persona o situación cuyas características son seleccionadas para entrar a la memoria a largo plazo; en este proceso intervienen activamente la percepción, memoria, atención, emociones, la capacidad de razonar, etc., en otras palabras: las capacidades mentales superiores.

A través de las capacidades o facultades mentales superiores<sup>3</sup> se obtiene la información del medio para procesarla, transformarla, depositarla, evaluarla, valorarla y recuperarla con el fin de utilizarla en el cumplimiento de las metas destinadas a cumplir objetivos específicos; este complejo procedimiento opera a través de sistemas de procesamiento determinados llamado módulos cerebrales, que son grandes núcleos de redes neuronales que se localizan en determinadas zonas del cerebro y son los encargados de realizar tareas concretas y especializadas. De acuerdo con Carminiati<sup>4</sup> son los cuatro lóbulos cerebrales: el lóbulo occipital se encarga de la visión; el lóbulo temporal está asociado a la sensación auditiva, el lenguaje, la comprensión del habla, memoria, el recuerdo de palabras y objetos; el lóbulo parietal está considerado fundamental para la ubicación espacial y el movimiento, además de recibir la información de los distintos receptores sensoriales, y por último, el lóbulo frontal, área muy importante para el aprendizaje porque se relaciona con el pensamiento, el razonamiento, la planeación y la resolución de problemas.

De acuerdo con Lavados<sup>5</sup>, los procesos mentales que hacen posible se lleve a cabo un aprendizaje serán los siguientes: atención, percepción, memoria, emociones, sentimientos y racionalidad.

- La atención no es un proceso exclusivo de la actividad mental, ya que incorpora elementos externos y del propio cuerpo, debido a esto, siempre es necesario unirla a la percepción; esto es, con la información y las condiciones que los estímulos deben cumplir para llamar la atención y ser considerados importantes para que los procesos mentales se pongan en marcha. Es relevante notar que para que un estímulo sea seleccionado deben existir una amplia variedad de ellos para que el elegido sea procesado, lo que permitirá pasar de una atención difusa o de alerta a una atención focalizada. Esta capacidad de focalizar la atención se denomina intencionalidad, lo que a su vez da origen a las conductas voluntarias.
- Los procesos de memoria y representación se relacionan con las capacidades secuenciales de registrar y codificar información, almacenar, mantener y la posterior recuperación del contenido; en otras palabras, es el conjunto de procesos destinados a incorporar, depositar y recuperar la información del medio. Es importante hacer notar que el acto de la memoria no es estático sino dinámico y está sujeto a la reconstrucción de lo almacenado de acuerdo a la experiencia y necesidades mentales de la persona.

Estos sistemas de almacenamiento (memoria) se clasifican de la siguiente forma:

- Por su duración: inmediata, de corto y largo plazo.
- Si son conscientes o inconscientes: declarativas o explícitas, implícitas o procedimentales y de habilidades.
- De trabajo: visuales, auditivas, espacial.

Desde el punto de vista neurobiológico, las emociones son parte esencial de los procesos involucrados en el aprendizaje, refiriéndose a las representaciones particulares y específicas que se realizan, ya sea del exterior o de uno mismo.

Los elementos que las constituyen son:

- Sentimiento (sensación interna que se desencadena al recibir un estímulo).
- Cambios corporales (necesario para aprovechar la oportunidad o para alejarse del peligro).
- Conducta apropiada (modelada por el aprendizaje para afrontar el problema que ha generado la emoción).

La racionalidad desde la neurociencia, se considera la capacidad de determinar los factores y componentes innatos y aprendidos que hacen posible construir estrategias eficaces y pertinentes para alcanzar los objetivos definidos.

El pensamiento racional, para que sea verdadero debe cumplir con las características o condiciones básicas de:

- Las representaciones deberán ser consistentes con la realidad exterior y de sí mismo.
- Las operaciones mentales que se realizan serán del tipo que den resultados, es decir que las inferencias sean válidas y confiables.

A esta coherencia operativa se le denomina lógica.

Entre los elementos del proceso de la racionalidad se encuentran: la noción de causalidad, el pensamiento crítico (análisis, comparación, evaluación, etc.), la simbolización, el pensamiento lógico-matemático, la conceptualización, la toma de decisiones, entre otras.

Al identificar cuáles son las funciones neuropsicológicas realizadas cuando nos apropiamos de la realidad (es decir, la percepción de objetos, situaciones o personas), se crean experiencias sensoriales y cognoscitivas que son simultáneas -y no secuenciales y progresivas como se pensaba- para adoptar una posición, ya sea de aceptación o de rechazo para dar el último paso que es el actuar: de esta forma, se construye el aprendizaje.

De las cuatro acciones mencionadas anteriormente surge la categorización de los distintos modelos de estilos de aprendizaje, lo que de acuerdo con Ellis<sup>2</sup> se relacionarán con las siguientes conductas, permitiendo realizar una clasificación de acuerdo al modo de seleccionar, procesar o transformar la información:

<b>Conocer</b>	<b>Pensar</b>
<i>¿Cómo sé yo?</i>	<i>¿Cómo pienso?</i>
Se refiere al cómo se percibe, procesa y representa mentalmente la información.	Se refiere al cómo se procesa la información y cómo se piensa.
<b>Afecto</b>	<b>Conducta</b>
<i>¿Cómo me siento y reacciono?</i>	<i>¿Cómo actúo?</i>
Se refiere al aspecto motivación, juicio, valores y respuestas emocionales.	Son los esquemas cognoscitivos, conceptuales y afectivos de nuestra conducta.

Fig. 1 Categorización de los estilos de aprendizaje considerando la forma de selección, procesamiento y/o transformación de la información recibida.



Bajo estos conceptos surge la premisa de que cada persona tiene su propio estilo de percibir, conocer, sentir, decidir y actuar para valorar la significación de la información: destaca el modo preferente de tener contacto cognoscitivamente con la realidad, en donde la percepción, como primera etapa de la cognición es la responsable de que el ser humano reciba, posea, obtenga y pueda discernir la información.

Es importante, por lo tanto, entender a la persona como individuo que aprende de manera distinta a los demás, utiliza diferentes estrategias, posee su propio ritmo e incluso con mayor o menor eficacia, aunque tenga similares motivaciones, el nivel de instrucción, edad o el mismo tema.

Es esencial no emplear los modelos de estilos de aprendizaje como una herramienta para etiquetar o clasificar al alumnado en categorías cerradas y arbitrarias. Se debe entender que los métodos y procedimientos para aprender evolucionan y cambian constantemente a la par que los estilos de enseñanza del docente en conjunto con las necesidades que el mundo diario dicta en este crecimiento.

## Referencias

1. ALONSO GARCÍA, Catalina, DOMINGO GALLEGU Gil, HONEY, Peter. Los estilos de aprendizaje. Procedimientos de diagnóstico y mejora. Bilbao: 7ª Ed. Ediciones Mensajero, 1994, 222 p. ISBN 9788427119147
2. ELLIS, Andrew, YOUNG, Andrew. Neuropsicología cognitiva humana. Barcelona: 1ª Ed. Ediciones Masson S.A. 1992, 359 p, ISBN 8431106174
3. HOWE J.A., Michael. Psicología del aprendizaje. Una guía para el profesor. México: 1ª Ed. Ediciones Oxford University Press, 2000, 165 p. ISBN 9789706136060
4. CARMINATI DE LIMONGELLI Mabel, WAIPAN Liliana. Integrando la neuroeducación al aula. Buenos Aires: 1ª. Ed. Editorial Bonum, 2012, 160p. ISBN9789876670616
5. LAVADOS MONTES, Jaime. El cerebro y la educación. Neurobiología del aprendizaje. Santiago de Chile: 1ª. Ed. Editorial Taurus, 2012, 327 p. ISBN 9789563473384

## Bibliografías

- ARDILA, Alfredo, ROSSELLI, Mónica. Neuropsicología clínica. México: 1ª Ed. Editorial El Manual Moderno, 2007, 385 p. ISBN 13:9789707292796
- CARDINALI, Daniel P. Neurociencia aplicada, sus fundamentos. Buenos Aires: Editorial Médico Panamericana. 2007, 503 p. ISBN 9789500603287
- CARMINATI DE LIMONGELLI, Mabel, WAIPAN, Liliana. Integrando la neuroeducación en el aula. Buenos Aires: Editorial Bonum, 2012, 158 p, ISBN 9789876670616
- FLORES LÁZARO, Julio César, OSTROSKY Feggy. Desarrollo neuropsicológico de lóbulos frontales y funciones ejecutivas. México: Editorial EL Manual Moderno, 2012, 165 p. ISBN 9786074482225
- HOWAR-JONES, Paul. Investigación neuroeducativa. Neurociencia, educación y cerebro: del contexto a la práctica. Madrid: Editorial Muralla, 2011, 360 p. ISBN 9788471337962
- MATUTE, Esmeralda. Tendencias actuales de las neurociencias cognitivas. México: 2 Ed. Editorial el Manual Moderno, 2012, 119 p. ISBN 9786074482737
- MAYA ELCARTE, Nieves, RIVERO, Rodrigo Santiago. Conocer el cerebro para la excelencia en la educación. Zamudio: Editorial: Innobasque (Agencia Vasca de la Innovación), 2010, 237 p. disponible en: <http://evirtual.uaslp.mx/Vinculacion/CORECYTzc/Documentos%20compartidos/2010%20-%20Documento%20Conocer%20-%20Carlos%20Artolozaga.pdf>
- NAVARRO J, Manuel. Cómo diagnosticar y mejorar los estilos de aprendizaje. España: 1ª Ed. Editorial Asociación Procompal, 2008, 91 p. ISBN 13:9788492434695
- PURVES, Dale, AUGUSTINE, George J. Fitzpatrick David [et al], Hall, Neurociencia. Buenos Aires: 5ª Ed. Editorial Médica Panamericana, 2015, 800 p. ISBN 9788498357547
- SALAS SILVA, Raúl E. Estilos de aprendizaje a la luz de la neurociencia. Bogotá: 1ª Ed. Colección Aula abierta/Magisterio. 2008, 412p. ISBN 9789582009304
- STERBERG, Robert J. Estilos de pensamiento. Claves para identificar nuestro modo de pensar y enriquecer nuestra capacidad de reflexión. Barcelona: Editorial Paidós Ibérica, 1999, 234 p. ISBN 9788449366440

Fecha de recepción  
04/11/2015

Fecha de aceptación  
12/01/2016

Fecha de publicación  
31/05/2016



