

Una propuesta metodológica para una mayor comprensión e interpretación del comportamiento de los fenómenos naturales para las Ciencias Básicas en la Universidad Pontificia Bolivariana: a partir de la observación hasta obtener las respuestas del comportamiento del fenómeno¹

A proposal for a better comprehension and interpretation of the natural phenomena for the Basic Sciences at Pontificia Bolivariana University: from observation until getting the answers to the phenomena behavior

Egidio Esteban Clavijo Gañan

Magíster en la Enseñanza de la Matemática
Especialista en Computación
Licenciado en Matemáticas
Docente Universidad Pontificia Bolivariana
Grupo de Investigación en Matemáticas, Gmat
egidio.clavijo@upb.edu.co

Gustavo Suarez Guerrero

Magíster en Métodos numéricos y modelamiento matemático
Ingeniero Mecánico
Docente Universidad Pontificia Bolivariana
Grupo de Investigación en Matemáticas, Gmat
Gustavo.suarez@upb.edu.co

Recibido Octubre 10 de 2009 – Aceptado Mayo 21 de 2010

SÍNTESIS

En el área Métodos Numéricos del Centro de Ciencia Básica de la Universidad Pontificia Bolivariana, UPB, se viene implementando una metodología con base en un proceso de observación del fenómeno, de identificación del fenómeno y de interpretación del fenómeno. Hace parte complementaria de la metodología la simulación computacional del fenómeno. Esta metodología surge como propuesta a partir del planteamiento del proyecto “Solución de problemas de dominios acoplados con interacción fluido – estructura en un dispositivo de asistencia ventricular cardíaca” y de los diferentes proyectos presentados por los estudiantes de Métodos Numéricos con los cuales se realizaron pruebas piloto

¹ Producto derivado del Proyecto de Investigación “PLANTEAMIENTO Y DESARROLLO DEL MODELO PARA UNA BOMBA DE ASISTENCIA VENTRICULAR CARDÍACA COMO FASE PREVIA AL ESTUDIO DEL DISPOSITIVO EN LA INTERFACE FLUIDO MECÁNICO”, proyecto financiado por la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín y Université De Paris Vi (Pierre Et Marie Curie).

para la valoración de la metodología mediante unas mini-jornadas académicas de modelamiento matemático y simulación numérica, las cuales entregaron resultados positivos. La metodología pretendió fomentar un pensamiento científico lógico y organizado que conduzca a una mayor calidad de la enseñanza y del aprendizaje.

Descriptores: *Metodología, observación, identificación, interpretación, modelamiento, simulación.*

ABSTRACT

Numerical Methods area In the Center for Basic Science at Universidad Pontificia Bolivariana, UPB, a methodology has been implemented based on a process of observation, identification and interpretation of the phenomenon. It is part of the computer simulation of the phenomenon methodology. The proposal methodology comes as a project approach "Troubleshooting domain coupled with fluid - structure interaction in a cardiac ventricular assist device" and the different projects presented by students of Numerical Methods course who participate in pilot-test for the methodology assessment through a mini-conference academic mathematical modeling and numerical simulation, which gave positive results. The methodology want to encourage a logical and organized scientific thinking in the students, that leads to a higher quality of teaching and learning.

Descriptors: *Methodology, observation, identification, interpretation, modeling, simulation.*

1 INTRODUCCIÓN

Para la humanidad y la ciencia ha sido interesante conocer como el hombre pudo alcanzar un saber científico evolutivo, desde la misma era primitiva, a pesar de llevar consigo la carencia de un pensamiento científico, lógico y organizado.

El hombre primitivo exploró e indagó los fenómenos de la naturaleza con los que convivía permanentemente, intentando resolver inquietudes y clarificando situaciones con la intención de sobrellevar una supervivencia defensiva.

Desde su concepción, fueron varias las preguntas que el hombre primitivo se pudo haber hecho: ¿cuántos individuos forman una aldea?, ¿cuánto tiempo tienes?, ¿dónde estoy situado?, ¿cuánto espacio ocupa?

Surge entonces *la lógica*, desde el primer momento en que el hombre al enfrentar la naturaleza, *infiere, deduce, y razona*, con el ánimo de entenderla y aprovecharla para su supervivencia.

La evolución de la lógica esta intrínsecamente ligada a la *evolución intelectual* del ser humano, ya que como *ciencia del razonamiento*, su historia representa la historia misma del hombre.

Existen grandes enfoques interpretativos sobre la evolución de la lógica. *Poincaré* la dividió en cinco etapas dentro de tres grandes tópicos: *del rigor y la formalidad a la creatividad y el caos*. Las etapas con las cuales la identificó fueron: *revolución matemática, revolución científica, revolución formal, revolución digital* y la prevista siguiente *revolución lógica*.

Las matemáticas se convirtieron entonces en una necesidad por comprender e interpretar la naturaleza y sus situaciones fenomenológicas. Inclusive, el hombre quiso comprender su mismo cuerpo y las situaciones biológicas que lo componían.

En muchas ocasiones los fenómenos fueron mal comprendidos e interpretados, desviándose del verdadero sentido, como ocurrió cuando se trató de entender el concepto de enfermedad, a la cual consideraron un suceso *mágico y misterioso* interpretándola como un hechizo *maligno apoderado del cuerpo y del alma*.

Luego surgió una pregunta: ¿Cómo se desarrolló en aquel entonces un proceso de indagación, sin haber estado suscitado inherentemente por algún orden metodológico?, ó acaso ¿si se presentó?

Retomando toda la evolución de las ciencias y de las grandes teorías en la historia, se pudo detectar la existencia de un orden lógico que evocó grandes descubrimientos de la humanidad.

Este orden se basó principalmente en unos aspectos fundamentales conformados por *la observación del fenómeno, la identificación del fenómeno, la interpretación del fenómeno mediante algún formalismo y la respuesta del fenómeno.*

En la Universidad Pontificia Bolivariana, específicamente en el Centro de Ciencias Básicas, motivados por el hacer *ciencia* a través de un *pensamiento científico organizado*, se ha implementado una metodología similar, basada en los mismos aspectos descritos anteriormente, y aplicados a varios cursos semestrales de métodos numéricos del pregrado.

Esta metodología ha permitido desarrollar diferentes propuestas de los estudiantes quienes vienen adquiriendo una mayor comprensión e interpretación de los conceptos matemáticos complejos, abstractos, de difícil comprensión por casos cotidianos, reales y de fácil entendimiento. Los estudiantes determinan una temática para el desarrollo de unos proyectos siguiendo un *proceso de observación de fenómenos ó de situaciones fenomenológicas reales o cotidianas.* Los docentes les brindan asesorías permanentes que orientan la ejecución de la propuesta. Una de las fases que constituye esta metodología es el desarrollo de un *modelamiento matemático-numérico con una solución computacional*

2 PROPUESTA METODOLÓGICA PARA UNA MAYOR COMPRENSIÓN E INTERPRETACIÓN DE LOS FENÓMENOS

La metodología permite determinar unas temáticas de estudio ó análisis las cuales han sido obtenidas por medio de un *proceso de observación de fenómenos ó de situaciones fenomenológicas reales.* El *proceso de observación* constituye la fase preliminar de la metodología y es esencial para el desarrollo de las siguientes fases. Un *proceso de observación* se aplica por medio de *observar* una situación ó fenómeno con *sentido crítico y lógico* a partir de una *inferencia, deducción, y razonamiento.*

La primera fase se conoce como la *identificación del fenómeno* que establece cuales serían *las variables que actúan en el fenómeno*, los *parámetros del fenómeno*, los parámetros que se transforman en variables, y las variables que se convierten en parámetros, esto dependiendo del comportamiento del fenómeno. Además cuales para el comportamiento, pudieran ser variables poco sensibles, sensibles y muy sensibles.

La segunda fase se conoce como *la interpretación del fenómeno* la cual se sustenta por medio de las fases anteriores y consiste en la elaboración del formalismo matemático para la descripción del fenómeno. Para esta interpretación es relevante determinar qué tipo de simplificaciones se requieren sin que se sacrifique la fiabilidad de las respuestas, evitando una mayor complejidad en la interpretación del modelo matemático y un mayor robustecimiento del proceso numérico y computacional. Subyacen preguntas en esta fase como: *¿el fenómeno tiene un comportamiento estacionario ó transitorio?*

La tercera fase es conocida como *condiciones del fenómeno* la cual consiste en establecer los criterios, condiciones de trabajo, requerimientos para que se presente el comportamiento del fenómeno.

La cuarta fase está conformada por la aplicación de un *método de transformación*. En esta fase se pretende representar el fenómeno de un medio continuo, micro y macroscópicamente sin interrupciones, representado mediante un medio discreto. Sin esta fase sería complejo resolver distintos fenómenos naturales, ya que el número de ecuaciones subyacentes de la interpretación matemática no son fácilmente resultas de manera analítica.

La quinta fase la constituye el *método de solución* para las repuestas del comportamiento del fenómeno. Esta fase está directamente relacionada con la fase anterior.

La sexta fase está definida como la *implementación del fenómeno*, y consiste en establecer apropiadamente los recursos tecnológicos de hardware y software para obtener las respuestas del fenómeno y la convergencia de la solución.

La última fase se conoce como la *valoración de las respuestas del fenómeno*, la cual consiste en determinar unas técnicas gráficas que faciliten la comprensión del comportamiento del fenómeno.

A continuación se presenta un diagrama de bloques que muestra la metodología que ha permitido una mayor comprensión e interpretación de los fenómenos naturales. Figura 1.

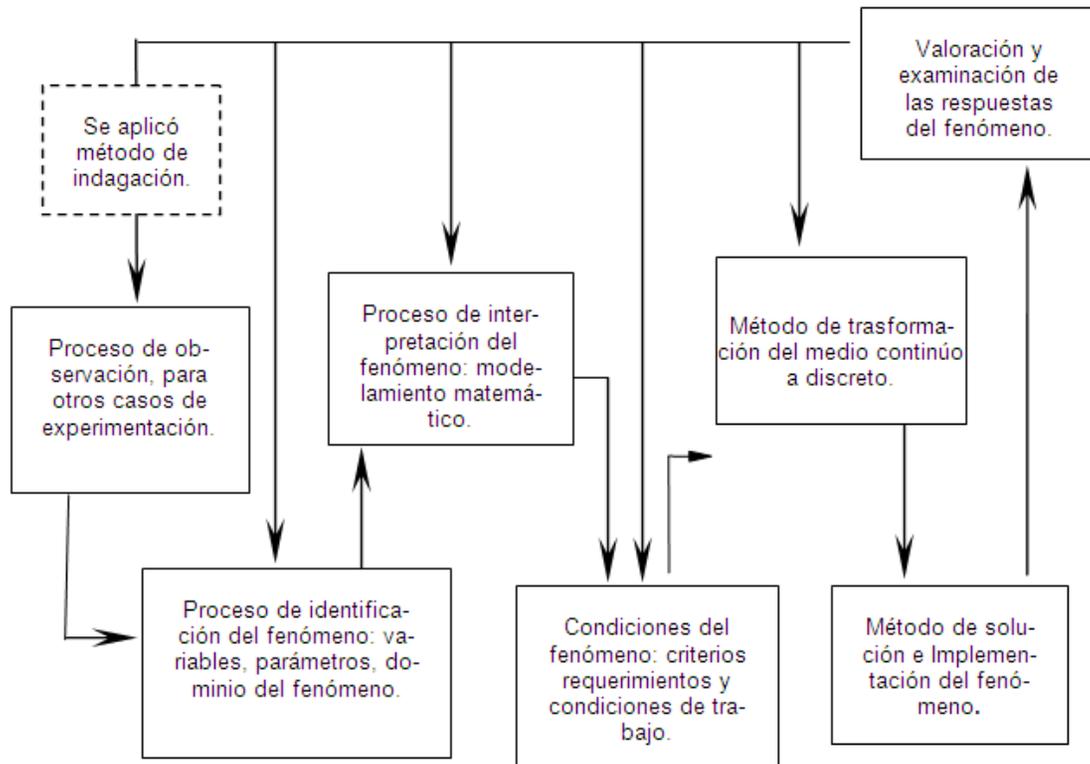


Figura 1. Diagrama de bloques que muestra la metodología que ha permitido una mayor comprensión e interpretación de los fenómenos naturales.

La aplicación metodológica por fases requiere de otros componentes para su desarrollo. En los apartados siguientes serán tratados los componentes que complementan esta propuesta.

2.1 Componentes para una modelación y simulación de un fenómeno natural.

Un componente que es esencial en la metodología es la definición del *dominio que contiene el fenómeno*. El dominio es requerido para el *proceso de observación, identificación e interpretación*, y se encuentra situado por unos límites donde se producen las *actividades del fenómeno*.

Las *actividades* son representadas por la *interacción dinámica* de los subdominios del fenómeno. La *interacción dinámica* se presenta por el acoplamiento fenomenológico de los subdominios a través de la interfaz.

La metodología tiene como punto de partida la *observación de un fenómeno continuo* el cual micro y macroscópicamente no tendrá interrupciones (desde lo ideal), transformándolo en *un fenómeno discreto* representado mediante un *número finito de puntos ó elementos*. El fenómeno se transforma entonces en una *serie de pasos discretos*.

Otro componente fundamental en la metodología es la determinación del *modelo* definido como el *objeto* del fenómeno el cual está conformado por unos límites en un subdominio y constituido por unas *actividades* en dinámica con el dominio.

Es relevante determinar las *variables exógenas* compuestas por las influencias que ejercen de naturaleza. Son *variables de entrada* siendo predeterminadas para el modelamiento del fenómeno. Estas variables actúan sobre el dominio y según el comportamiento del fenómeno no tienen necesariamente que recibir respuestas del mismo. *Algunas pueden ser controladas en cambio otras no tienen un control determinado*.

De igual manera, se debe determinar las *variables endógenas*. Son variables de salida producidas por la interacción dinámica con las variables exógenas en la actividad del fenómeno.

Generalmente las variables están limitadas en cuanto a los rangos en que oscilan. Se deben determinar las *regiones factibles* del fenómeno dadas por un conjunto de restricciones.

Existen *parámetros* que acompañan la descripción del fenómeno. Estos son considerados *factores del fenómeno* cuya incidencia alteran el comportamiento del dominio.

En la metodología es fundamental realizar una *postulación del fenómeno* estableciendo una *hipótesis* elaborada por medio de los componentes y actividades que constituyen el comportamiento fenomenológico.

2.2 Un fenómeno que muestra la representación del funcionamiento del hígado en el cuerpo humano.

Se establece la *postulación del fenómeno* con una *hipótesis* establecida por el *proceso de observación*. El fenómeno comienza en la *inyección del producto químico tiroxina* en el torrente sanguíneo. Este *producto* llega hasta el *hígado*, el cual la *transforma* en yodo que se *absorbe* en la *bilis*. Sin embargo ni la *conversión*, ni la *absorción* ocurren instantáneamente. Parte de la tiroxina vuelve a entrar en el torrente sanguíneo para realizar un *proceso de recirculación* y retornar al hígado. Utilizando *isótopos radioactivos*, es posible medir la *rapidez* con que se elimina la tiroxina del torrente sanguíneo, aunque no se conoce el mecanismo específico por el cual se *transfiere* de la sangre al hígado y de ahí a la bilis.

Del *proceso de observación*, se establece una *hipótesis* con un *conjunto probable de componentes y actividades*.

El *dominio* queda determinado por el *cuerpo humano* y los *subdominios* quedan constituidos por los *vasos sanguíneos*, el *hígado* y la *bilis*, con *interacción dinámica* entre sí.

Las actividades del fenómeno se presentan en los procesos de *circulación*, *absorción* y *conversión*. La *tiroxina* se puede identificar como un *parámetro* que presenta un proceso de transformación afectando directamente las variables. Se pueden establecer como las variables del fenómeno las *concentraciones* con que ocurren las actividades.

La interpretación se puede elaborar presentando los subdominios mediante *modelos* de tres compartimentos que interactúan recíprocamente. Cada modelo posee unas *variables exógenas* y *endógenas* que describen su comportamiento.

Se elaboró una interpretación matemática con base en las variables, los parámetros y las actividades del fenómeno, por medio de las razones con que se transfiere la tiroxina entre los compartimentos, estableciendo una proporción de equilibrio de la concentración interactuante.

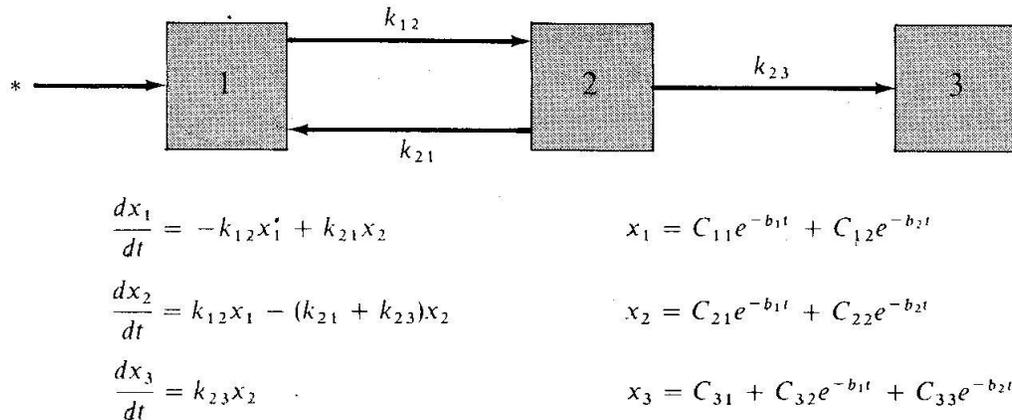


Figura 1. Modelo de tres compartimentos representando el fenómeno de absorción y conversión de la tiroxina en los vasos sanguíneos, el hígado y la bilis.

El compartimiento 1 representa los vasos sanguíneos, el compartimiento 2 representa el hígado y el compartimiento 3 representa la bilis. Se muestra los coeficientes supuestos de transferencia entre los comportamientos.

2.3 Analogías entre distintos comportamientos de la naturaleza para adquirir una mayor comprensión e interpretación de un fenómeno

En la naturaleza es frecuente observar *analogías físicas, químicas y matemáticas* entre distintos fenómenos naturales. Las analogías se presentan por *similitudes subyacentes entre actividades y componentes*.

Los fenómenos pueden estar conformados por distintos componentes aun siendo gobernados por interpretaciones similares. Algunos fenómenos poseen un comportamiento complejo que dificulta el *proceso de identificación e interpretación*, sin embargo presentan analogías con otro fenómeno para el cual el proceso de *identificación*

e interpretación es más práctico. Las analogías se convierten entonces en una alternativa para comprender e interpretar los fenómenos naturales.

A continuación se presenta una analogía clásica entre un fenómeno eléctrico y mecánico:

Se tiene un *modelo* constituido por una masa suspendida a través de un resorte la cual viene siendo empujada por a una fuerza dinámica $F(t)$. El resorte posee una fuerza de amortiguación proporcional a la velocidad de la masa. El fenómeno es *observado* en la suspensión que conforma la amortiguación de un automóvil. Se tiene un circuito eléctrico en serie con una fuente de voltaje que varía mediante la función $E(t)$.

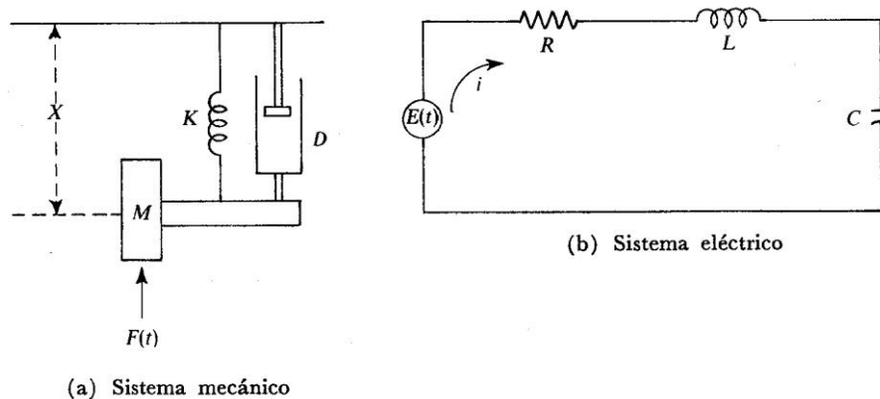


Figura 2. Analogía entre un fenómeno mecánico (a) y un fenómeno eléctrico (b).

La interpretación de movimiento para un análisis dinámico transitorio es:

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = F \quad (1)$$

Donde:

M = Matriz masa.

C = Matriz de amortiguamiento.

K = Matriz de rigidez.

\ddot{u} = Vector de la aceleración.

\dot{u} = Vector de la velocidad.

u = Vector de desplazamiento.

F = Vector de la carga.

En el circuito eléctrico, siendo q la carga en la capacitancia del circuito eléctrico, el comportamiento del fenómeno se puede interpretar como:

$$Lq'' + Rq' + \frac{q}{C} = \frac{E(t)}{C} \quad (2)$$

Dónde:

L = La inductancia del circuito eléctrico.

R = La resistencia del circuito eléctrico.

C =Capacitancia del circuito eléctrico.

El proceso de identificación para los dos fenómenos muestra que se presenta una analogía entre las variables y los parámetros existiendo similitud en la interpretación que describe cada uno de los comportamientos.

Tabla 1. Analogías de las variables y los parámetros de ambos fenómenos (V=Variables, P=Parámetros).

Mecánico	V ó P	Eléctrico	V ó P
Desplazamiento	u	Carga	q
Velocidad	\dot{u}	Corriente	q'
Fuerza	F	Voltaje	E
Masa	M	Inductancia	L
Factor de amortización	D	Resistencia	R
Rigidez del resorte	K	1/ Capacitancia	$1/C$

En la práctica, es más simple *perturbar el fenómeno eléctrico* que el fenómeno mecánico, siendo *factible* la comprensión del fenómeno mecánico por medio del fenómeno eléctrico. Si en el evento se considera que el neumático rebota mayormente con determinado sistema de suspensión, en el fenómeno eléctrico se refleja que la carga (y por tanto el voltaje) en el condensador oscila excesivamente. Para predecir el efecto que tendrá una modificación en el amortiguador o muelle (resorte) para el comportamiento del automóvil, es suficiente perturbar los factores de la resistencia o condensador en el circuito eléctrico y observar el efecto en la manera como varía el voltaje.

El fenómeno mecánico anterior, ha sido presentado de manera elemental pudiendo ser resuelto a partir de la interpretación matemática descrita. Sin embargo en un fenómeno mecánico real pueden aparecer efectos complejos que dificultan la identificación e interpretación matemática. Para el caso, si el movimiento de la rueda del automóvil estuviera limitado mediante algunos topes físicos, esta condición exigiría una interpretación no lineal del fenómeno conllevando a un mayor grado de dificultad de la solución. Para el caso eléctrico, esta situación resulta sin problemas imponiendo límites al voltaje que puedan existir en la capacitancia.

En otras situaciones, *la interpretación matemática de un fenómeno puede elucidar comportamientos de otros fenómenos que poseen un grado mayor de escala.*

Otras situaciones que puede complejizar el análisis de un fenómeno mecánico serían cuando el modelo se somete a *vibraciones no predecibles y cuando se presentan no linealidades del material*, para lo cual el fenómeno eléctrico podría ser determinante.

RESULTADOS

La metodología actualmente viene siendo implementada en los cursos de métodos numéricos del *Centro de Ciencia Básica*, y valorada por *pruebas piloto con el propósito de obtener alternativas que conduzcan a una mayor calidad de la enseñanza y del aprendizaje académico y científico*. Los estudiantes presentaron *ideas novedosas* originadas a partir de la aplicación de un *proceso de observación en diferentes tipos de fenómenos*. La aplicación de la metodología viene siendo valorada desde hace un año y medio, alcanzando como resultados el desarrollo de 147 proyectos de semestre. La propuesta fue valorada y calificada positivamente por los jurados-docentes (*de 0 a 5, se obtuvo una calificación general de 4.65*).

Se citan algunas situaciones fenomenológicas que fueron desarrolladas por los estudiantes del curso del 4^{to} ciclo de ingenierías:

- Modelización del crecimiento de la dentadura y la mandíbula de los cocodrilos en relación con el crecimiento de los dientes de leche de un infante.
- Interpretación matemática del comportamiento celular en la formación de patrones de pigmentación en las serpientes.

- Simulación del comportamiento del cuerpo humano sometido a unas cargas por caída libre a una altura predeterminada, e incidencia del fenómeno en el sistema esquelético.
- Modelamiento matemático y Simulación numérica del comportamiento de tumores políclonales y mutación celular en la masa cefálica (Cáncer Cerebral y Metástasis).
- Modelización matemática para el análisis del comportamiento del material en un casco de protección vehicular sometido a fuerzas dinámicas y cargas de impacto generadas por choque (accidentes de tránsito).
- Simulación computacional y elaboración de un modelo experimental que permita elucidar el comportamiento de un huracán, con el propósito de desarrollar una propuesta que evite catástrofes costeras.

CONCLUSIONES

La metodología pretendió fomentar un *pensamiento científico lógico y organizado* con base en *las mismas formas de expresión* como se desarrolló la ciencia en la humanidad. Se presentaron tres vínculos fundamentales del saber como fueron: *inferir, deducir y razonar*.

La metodología también busco en el estudiante *ejercitar su intelecto* mediante el fortalecimiento de su capacidad de comprensión para posibilitarle *hacer ciencia*.

Las grandes teorías de la humanidad se descubrieron con base en un proceso de *observación de fenómenos, de identificación de fenómenos y de interpretación de fenómenos*.

La rapidez con la cual avanza la humanidad ha limitado el *proceso natural de observación* desplazándolo por un *proceso visual* que captura imágenes de manera transitoria sin algún sentido crítico.

Se realizaron ponencias estudiantiles mediante tres eventos catalogados como: *Mini-jornadas académicas de modelamiento matemático y simulación numérica*; con la

presencia de 75 docentes-jurados (un grupo asistido entre los tres eventos), conformados por profesores PhD, profesores Msc, investigadores y estudiantes de postgrados de la Universidad Pontificia Bolivariana, UPB.

Los resultados reflejaron que los estudiantes adquirieron mayor comprensión e interpretación de la matemática de los fenómenos aptitud aportada por el *desarrollo de un pensamiento científico, lógico y organizado*.

Es interesante destacar en los estudiantes que aun siendo un curso del 4^{to} ciclo de ingenierías, demostraron una gran capacidad de comprensión e interpretación del fenómeno.

AGRADECIMIENTOS

Un sincero agradecimiento con la dedicación de esta obra al Director del Centro de Ciencia Básica UPB, Msc Élmer Ramírez Machado, por su apoyo y acompañamiento en la implementación de la propuesta metodológica, en el área métodos numéricos, para los estudiantes del 4^{to} ciclo de ingenierías.

BIBLIOGRAFÍA

Cerrolaza M. and Flórez L. J. 2000. Modelos Matemáticos en Ingeniería Moderna, Editorial Universidad Central de Venezuela. ISBN: 9800014926. Venezuela. pp. 528.

Espert V., García, M., Sancho, M., López, A. Modelo matemático bidimensional para el estudio del flujo de agua a través de un decador rectangular con lamelas. Año de publicación 1996 Revista Ingeniería del Agua ISSN: 1134-2196 3 15-28 Fecha: 1996

González M. M. 2003. Modelos Matemáticos Discretos en las Ciencias de la Naturaleza, Editorial E. Díaz de Santos SA. ISBN: 978-84-7978-550-5.

Marbán J. M., Gómez Fe. M. and Pérez G., S. 2002. Modelos Matemáticos y Procesos Dinámicos. Un Primer Contacto, Intercambio Editorial, 1a Edición.

Perazzo F. and Oñate E. 2003. Una metodología numérica sin malla para la resolución de las ecuaciones de elasticidad mediante el método de puntos finitos. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, ISBN 84-95999-43-9. Barcelona.