





ISSN: 2339-3270

Revista  
INGENIERÍA, MATEMÁTICAS  
Y CIENCIAS DE LA INFORMACIÓN

PUBLICACIÓN DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE LA CORPORACIÓN UNIVERSITARIA REPUBLICANA

VOLUMEN 4 - NÚMERO 8 - JULIO - DICIEMBRE DE 2017





**Corporación Universitaria Republicana**  
**Centro de Investigaciones**

*Fecha de publicación: julio de 2017*

*DOI: <http://dx.doi.org/10.21017/rimci>*



Todos los contenidos de esta revista se rigen por Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional License.

Revista de Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de la Información, es una publicación del Centro de Investigaciones de la Corporación Universitaria Republicana - Bogotá, D.C.

Los artículos publicados en la revista pueden ser reproducidos total o parcialmente, citando la fuente y el autor.

Enfoque o perspectiva de análisis y contenido de los artículos son responsabilidad de los autores.

**DIRECTIVOS**  
**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA REPUBLICANA**

Presidenta del Consejo Superior : Diana Josefina Téllez Fandiño  
Rector : Gustavo Adolfo Téllez Fandiño  
Vicerrector : Gerardino Vivas Hernández  
Vicerrector Académico : Alejandro Castillo Rivas  
Director de Oficina de Planeación : Jaime Andrés Arboleda Oviedo  
Director del Centro de Investigaciones : Rodrigo Alberto Plazas Estepa  
Decano Facultad de Derecho y Ciencias Políticas : Iván Alfonso Cancino González  
Decana Facultad de Contaduría : Judith E. Carolina Herrera Peñaloza  
Decano Facultad de Finanzas  
y Comercio Internacional : John Freddy Bustos Lombana  
Decana Facultad de Trabajo Social : Jazmín Alvarado González  
Decano Facultad de Ingeniería  
y Facultad de Ciencias Básicas : Rafael I. Thomas Bohórquez

**EDITORA**  
**Evelyn Garnica Estrada**

**COMITÉ EDITORIAL**

Magdalena Pradilla Rueda  
Diana Janeth Lancheros Cuesta  
Pedro Fernando Martín Gómez  
Nelly Paola Palma Vanegas  
Emilio Delgado Tobón

**COMITÉ CIENTÍFICO**

Raúl Manuel Falcón Ganformina  
José Antonio Tumialán Borja  
María Elisia Armas Alvarado  
Claudia Alexandra Garzón Santos  
Paula Marcela Hernández Díaz

Publicación semestral  
Número de ejemplares: 200  
ISSN: 2339-3270

**Información:**

Centro de Investigaciones  
Carrera. 7 No. 19-38 • PBX: 286 23 84 - Ext. 114

**Armada digital e impresión:**

Grafiweb Impresores Publicistas • Tel.: 6945017  
grafiwebgerencia@gmail.com

## COMITÉ EDITORIAL

### **Magdalena Pradilla Rueda**

Doctorado de Matemáticas aplicadas a ciencias sociales y Magister en Informática y Matemática en Ciencias Sociales de la Universidad de Grenoble. Doctorado en Filosofía y Magister en Filosofía de la Universidad Paris I Pantheon Sorbonne. Informática de la Universidad de Grenoble. Licenciatura en Relaciones Internacionales y Diplomacia de la Universidad Jorge Tadeo Lozano.

### **Diana Janeth Lancheros Cuesta**

Doctorado en Ingeniería de la Pontificia Universidad Javeriana - Sede Bogotá. Magister en Tecnologías de la Información de la Universidad Pedagógica Nacional - U.P.N. Especialista en multimedia para la docencia de la Universidad Cooperativa De Colombia. Ingeniera de Diseño y Automatización Electrónica de la Universidad de la Salle.

### **Pedro Fernando Martín Gómez**

Doctorado en Ingeniería Mecánica de la Universidad Federal de Uberlândia. Magister en Materiales y Procesos de Manufactura e Ingeniero Mecánico de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.

### **Nelly Paola Palma Vanegas**

Magister en Ciencias - Matemática Aplicada de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá. Matemática de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá. Docente Fundación Universitaria Konrad Lorenz - Universidad Nacional de Colombia.

### **Emilio Delgado Tobón**

Magister en Ingeniería Mecánica de la Universidad de Los Andes, Ingeniero Mecánico de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá. Docente investigador Uniagustiniana.

## COMITÉ CIENTÍFICO

### **Raúl Manuel Falcón Ganfornina**

Doctor en Matemáticas, Universidad de Sevilla. Matemático, Universidad de Sevilla.

### **José Antonio Tumialán Borja**

Doctorado en Ingeniería Mecánica, Magister en Ingeniería Mecánica e Ingeniero de software de la Universidad Federal de Uberlândia, Brasil.

### **Maria Elisia Armas Alvarado**

Candidata a Doctor en Ciencias de la Universidad de São Paulo (USP). Master en Ciencias, Universidad de São Paulo (USP). Ingeniera Electrónica de la Universidad Privada Antenor Orrego.

### **Claudia Alexandra Garzón Santos**

Doctora en Ingeniería, Industria y Organizaciones de la Universidad Nacional de Colombia. Magister en Administración de Empresas, de la Universidad Nacional de Colombia. Economista, Universidad Nacional de Colombia.

### **Paula Marcela Hernández Díaz**

Candidata a Doctor en Desarrollo Sostenible, Magister en Tecnologías y Administración Ambiental de la Universidad de Manizales. European MsC in environmental technology & management, De Montfort University - Leicester UK. Especialista de Mercadeo e Ingeniera de Procesos de la Universidad EAFIT.

## PARES EVALUADORES

### **Ernesto Cadena Muñoz**

Magister en Telecomunicaciones de la Universidad Nacional de Colombia. Especialista en Gestión de proyectos de Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José De Caldas. Ingeniero en Telecomunicaciones y tecnólogo en electrónica de la Universidad Distrital Francisco José De Calda.

### **Darío Alejandro García**

Doctorando en Matemáticas, Universidad de los Andes. Magister en Matemáticas, Universidad de los Andes. Matemáticas, Universidad Nacional de Colombia.

### **Bricce Yesid Valencia Cruz**

Magister en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Colombia. Especialista en Matemática Aplicada, Universidad Sergio Arboleda.

### **Ramón Cubaque**

Magister en Educación, Universidad Libre de Colombia. Especialista en Gerencia y Proyección Social de la educación, Universidad Libre de Colombia. Ingeniero Industrial, Universidad Libre de Colombia.

### **Carlos Andrés González Cortés**

Magíster en Administración de Empresas con Especialidad en Dirección de Proyectos de la Universidad del Mar. Viña del Mar de Chile. Ingeniero Industrial de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

## REVISTA INGENIERÍA, MATEMÁTICAS Y CIENCIAS DE LA INFORMACIÓN

ISSN 2339-3270

La Revista Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de la Información es una publicación científica y tecnológica de la Corporación Universitaria Republicana, que tiene por objeto publicar avances y resultados de investigación en matemáticas, ciencias de la información e ingeniería.

La publicación es semestral y está abierta a recibir en forma permanente los documentos que se postulen para publicación.

1. Para su recepción, evaluación y publicación los artículos cumplen un proceso de preselección basado en dos criterios: el primero atiende a la tipología del artículo de acuerdo con las categorías de Colciencias; el segundo, verifica el cumplimiento de los requisitos formales.

Si el artículo no corresponde a ninguna de las categorías establecidas por la revista o no se ajusta a los requisitos de presentación formal, será devuelto a su autor, quien podrá volver a remitirlo al editor cuando se hagan las correcciones. Se debe cumplir con los siguientes criterios según los requerimientos de tipo científico de acuerdo con la clasificación de Colciencias:

- **Artículo de investigación científica y tecnológica.** «Informe escrito que da cuenta de los resultados originales de una investigación y que debe cumplir con requisitos formales establecidos dentro de una disciplina y una comunidad científica y tecnológica, formalidades que se reflejan en las prácticas generalmente aceptadas para la publicación de documentos en las revistas que pudieran llegar a aceptarlo». Colciencias (2012).
- **Artículo de reflexión.** Documento que presenta resultados de investigación terminada desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico, recurriendo a fuentes originales.
- **Artículo de revisión.** Documento resultado de una investigación terminada donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones publicadas o no publicadas, sobre un campo en ciencia o tecnología, con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo. Se caracteriza por presentar una cuidadosa revisión bibliográfica de por lo menos cincuenta referencias.

2. Se aceptan artículos escritos en español, inglés o francés. No se aceptan artículos que hayan sido publicados o que se encuentren en proceso de publicación en otra revista. Todo autor debe acompañar su propuesta con una constancia de que el texto presentado es de su autoría e inédito, garantizando que el mismo no ha sido propuesto en ninguna otra publicación.

3. Los artículos deberán tener un sustento bibliográfico. Las referencias bibliográficas tienen que hacerse de estilo de citación y de presentación según las **normas IEEE**.

4. En la primera página se debe hacer la correspondiente referencia sobre el autor y sus calidades académicas e investigativas. Adicionalmente señalar el proyecto de investigación del cual procede el artículo y la institución a la que corresponde.

5. Extensión máxima de 20 páginas, presentación en Word, carta, letra Times New Roman, con las **normas IEEE**.

La Revista utiliza el sistema de revisión externa (Double-Blind Peer Review) de forma anónima mediante el método de "doble ciego", así mismo la revista podrá publicar artículos que cumplan con los requisitos de forma y contenido y que hayan sido evaluados favorablemente por árbitro o par académico.

Cada ejemplar se edita en versión impresa y también en versión electrónica (ISSN 2357-3716), esta última disponible en: <http://ojs.urepublicana.edu.co/index.php/ingenieria/index>. Esta es una revista de acceso abierto (Open Access), significa que todo el contenido es de libre acceso y sin ningún coste para el usuario/a o para su institución. Los usuarios pueden leer, descargar, copiar, distribuir, imprimir, buscar o enlazar con los textos completos de los artículos de esta revista sin pedir permiso previo, pero reconociendo los derechos de autor haciendo las referencias correspondientes.

Los artículos podrán remitirse mediante la página electrónica OJS o al correo electrónico de la Revista: [revistaingenieria@urepublicana.edu.co](mailto:revistaingenieria@urepublicana.edu.co). El formato IEEE esta disponible en el sitio online de la revista.

Para ampliar información acerca de los parámetros, plazos y condiciones puede contactar a la editora de la revista Ing. Evelyn Garnica Estrada al correo electrónico: [egarnicae@urepublicana.edu.co](mailto:egarnicae@urepublicana.edu.co)

# CONTENIDO

	Pág.
<b>Editorial</b>	
<i>Evelyn Garnica Estrada</i> .....	11
 <b>Artículos de Investigación</b>	
<b>VENTAJA DE UN COHETE MULTIETAPA PARA EL ENVÍO DE CARGA A DIFERENTES ORBITAS TERRESTRES</b>	
Asset of a multi-stage rocket for sending cargo to different earths' orbits	
<i>Daniel Jesús Martínez Calderón</i> .....	13
 <b>UNA PROPUESTA PARA LA ENSEÑANZA DE LA DERIVADA BASADA EN EL APRENDIZAJE AUTÓNOMO</b>	
A proposal for the teaching of the derivative based in autonomous learning	
<i>Alfonso Gómez Mulett</i> .....	19
 <b>RESULTADOS DEL MODELAMIENTO MATEMÁTICO COMO HERRAMIENTA DE ARTICULACIÓN DE LA MATEMÁTICA UNIVERSITARIA EN LOS ESTUDIANTES DE PRE CÁLCULO</b>	
Results of mathematical modeling as a joint tool of university mathematics in pre-calculus students	
<i>Juan Guillermo Núñez Osuna, Luis Alfonso Sánchez Bernal</i> .....	29
 <b>RESOLUCION TRIGONOMÉTRICA DE LA ECUACIÓN DE SEGUNDO GRADO</b>	
Solving a trigonometric equation using the quadratic formula	
<i>Carlos M. Mata Rodríguez</i> .....	35
 <b>TECNOLOGÍA 5G</b>	
5G Technology	
<i>Néstor Jaramillo, Alexander Ochoa, William Páez y Alexander Peña</i> .....	41
 <b>LA PRODUCCIÓN MAS LIMPIA COMO ESTRATEGIA AMBIENTAL EN EL MARCO DEL DESARROLLO SOSTENIBLE</b>	
The cleanest production as an environmental strategy in the framework of sustainable development	
<i>Henry Fajardo Fonseca</i> .....	47

ANÁLISIS DE PERCEPCIÓN SOBRE ESTRATEGIAS ADMINISTRATIVAS Y EL IMPACTO EN LA PRODUCTIVIDAD LABORAL Analysis of perception about administrative strategies and the impact on labor productivity <i>Ruth Milena Suárez Castro, Yolima Andrea Rodríguez Rubiano, Natalia Muñoz Padilla .....</i>	61
REFERENTES MEDIO AMBIENTALES PARA LA GESTIÓN DE PROYECTOS EN LAS ORGANIZACIONES Environmental references for the management of projects in organizations <i>Wilson Javier Castro Torres, Ivonne Edith Castro Torres, Angie Marian González García .....</i>	69
MODELOS DE RESILIENCIA ORGANIZACIONAL EN LAS PYMES Y SU IMPACTO EN LA CADENA DE ABASTECIMIENTO Models of organizational resilience within SMES and their impact on the supply chain <i>Ricardo Andrés Villalba Rivera .....</i>	77

## EDITORIAL

**L**a *Revista Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de la Información* es una publicación que busca presentar avances y resultados de trabajos realizados por investigadores, así como nuevos planteamientos técnicos y revisiones documentadas sobre temas de actualidad en los diferentes campos de la Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de la Información; en ese sentido, este número presenta trabajos de ingeniería aeronáutica, ingeniería de telecomunicaciones, ingeniería electrónica, ingeniería de sistemas, ingeniería industrial y matemáticas.

Para esta edición número 8 de la Revista Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de la Información, se tiene contribuciones de autores provenientes de diversas instituciones a nivel nacional como la Universidad de Cartagena, la Universidad Tadeo Lozano, La Fundación Universitaria Los Libertadores, La ECCI (Escuela Colombiana de Carreras Industriales), La Universidad Piloto de Colombia y una vez más contamos con contribuciones internacionales desde la Universidad de Ciego de Ávila de Cuba.

Adicionalmente, el presente número de la revista cuenta con artículos de la Corporación Universitaria Republicana generados desde el grupo OCA (Operaciones, Calidad y Administración) donde docentes investigadores y estudiantes de Ingeniería Industrial presentan sus contribuciones de los trabajos de investigación abordados actualmente.

Seguimos trabajando en tener una publicación más visible y con mayor calidad, para lograr el reconocimiento y categorización como Revista Científica ante Publindex - Colombia.

Finalmente, quiero extender un agradecimiento a toda la comunidad académica de la Corporación Universitaria Republicana por el apoyo brindado a la Revista, al Centro de Investigaciones y a las Directivas, así como a revisores y autores por su contribución y valioso trabajo.

**Evelyn Garnica Estrada**  
Docente Investigadora  
Editora





<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

# VENTAJA DE UN COHETE MULTIETAPA PARA EL ENVÍO DE CARGA A DIFERENTES ÓRBITAS TERRESTRES

*Asset of a multi-stage rocket for sending  
cargo to different earths' orbits*

DANIEL JESÚS MARTÍNEZ CALDERÓN<sup>1</sup>

*Recibido:09 de junio de 2017. Aceptado:23 de junio de 2017*

*DOI:<http://dx.doi.org/10.21017/rimci.2017.v4.n8.a27>*

## RESUMEN

La actividad de enviar carga al espacio es muy costosa debido a factores como la energía involucrada, la cantidad de propelente necesario, la velocidad, altitud y empuje requeridos. Por lo tanto se analiza la ventaja en el cambio de velocidad que genera un cohete de 2 etapas usando la ecuación básica de la coherería, la energía mecánica involucrada en una órbita y la relación entre el periodo y la velocidad circular. Finalmente se muestra la importancia de la relación empuje-peso en la coherería y su relación con el vuelo.

**Palabras clave:** ecuación cohete ideal, exceso de empuje, impulso específico, periodo orbital, relación de masas, velocidad circular.

## ABSTRACT

The activity of sending cargo to space is very expensive due to factors such as the energy involved, the amount of propellant needed, speed, altitude and thrust. Therefore, the advantage in the change of speed generated by a 2-stage rocket is analyzed using the ideal rocket equation, the mechanical energy involved in an orbit and the relationship between the period and the circular velocity. Finally, the importance of the thrust-to-weight ratio in rocketry and its relation to the flight.

**Keywords:** ideal rocket equation, excess thrust, specific impulse, orbital period, mass ratio, circular velocity.

## I. NOMENCLATURA

T : Thrust o Empuje  
 $\Delta V$  : Cambio de velocidad total del cohete.  
 $m_p$  : Masa del propelente.  
 $m_{est}$  : Masa de la estructura.  
 $m_{carga}$  : Masa de la carga.  
 E.P. : Energía Potencial.  
 E.C. : Energía Cinética.

$g_0$  : aceleración de la gravedad a nivel del mar.  
 $T_{exc.}$  : Exceso de Empuje.  
 Q : Presión Dinámica  
 $a_{des}$  : Aceleración al despegue.  
 V : velocidad circular  
 $V_{ex}$  : Velocidad de salida de los gases de escape productos de la combustión del propelente por la tobera.

<sup>1</sup> Estudiante Ingeniería Aeronáutica Fundación Universitaria Los Libertadores (Proceso de grado). Estudios Virtuales: Calculus 1A: Differentiation (MITx), Calculus 1B: Intergation (MITx), Mechanics: Kinematics and Dynamics (MITx), Introduction to Aerospace Engineering: Astronautics and Human Spaceflight (MITx), Introduction to Aeronautical Engineering (Delft University of technology), Introduction to Differential Equations (Boston University), Nonlinear Differential Equations: Order and Chaos (Boston University), GeometryX: Introduction to Geometry (School Yourself). Correo Electrónico: dj25martinez@gmail.com

## II. INTRODUCCIÓN

LOS COHETES, esas máquinas asombrosas capaces de llevarnos a las puertas del cosmos ya sea físicamente o mediante herramientas de medición como telescopios y sondas así como sirven enviando los racimos de satélites tan necesarios en este siglo de las ciencias de la información y las redes, evolucionan constantemente en diseño y manufactura debido fundamentalmente al elevado costo energético y monetario que implica poner una masa  $x$  a una altura orbital. Por ello, una de las grandes y primeras mejoras fue el darse cuenta de la ventaja que brinda un cohete que separara parte de la masa inicial durante parte de la trayectoria, aumentando así el famoso y deseado  $\Delta V$  tan necesario para alcanzar la velocidad orbital que no debe ser menor a 8km por segundo.

En un cohete de una sola etapa el porcentaje de masa del propelente para entrar en órbita es tan grande que vuelve inviable enviar siquiera el cohete sin carga y limita la calidad estructural de la máquina pues su masa tiene que ser mínima.

### III. ¿CUÁNTA ENERGÍA SE REQUIERE PARA PONER UN KILOGRAMO EN UNA ÓRBITA DE LEO?

LEO son las siglas para Low Earth Orbit u órbita baja de la tierra que es una altitud que comprende desde los 180 km hasta los 2000 km [1] sobre el nivel del mar. Es así como por ejemplo la ISS (Estación Espacial Internacional) orbita entre los 330 y 435 km de altitud.

Supongamos entonces que queremos saber el costo de poner un kilogramo en la ISS que se encuentra a 420 km, en primer lugar acudimos a la ecuación de la energía potencial así:

$$E.P. = m * g * h \quad (1)$$

Donde  $g$  es la aceleración gravitatoria a nivel del mar, y  $h$  es la altitud.

$$E.P. = (1\text{kg}) * (9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) * (420,000\text{m}) \quad (2)$$

De la ecuación (2) se deduce que la energía potencial de 1 kg a esa altitud es de aproximadamente  $4.11 * 10^6$  Jules o 4.11 Mega joules. De igual manera

la masa necesita una velocidad mínima para mantenerse a esa altitud y no desacelerar hasta tal punto que por la fuerza gravitatoria de la tierra empiece a caer de nuevo, ésta velocidad es del orden de 8 kms y está relacionada con la energía cinética así:

$$E.C. = \frac{1}{2} * m * V^2 \quad (3)$$

$$E.C. = \frac{1}{2} * (1\text{kg}) * (8 * 10^3 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 \quad (4)$$

De la ecuación (4) resulta que la energía cinética de 1 kg es de  $32 * 10^6$  Jules o 32 Mega joules.

Por lo tanto la energía mecánica total de 1 kilogramo, definida como la suma de la energía potencial mas la cinética nos da un estimado de  **$36.11 * 10^6$  o 36 Mega joules.**

Por lo que 36 Mega joules es igual a  $3.6 * 10^7$  Watt\*segundo que es equivalente a 10 Kilowatts\* hora.

Recordando que Watt es la relación  $1 \frac{\text{Joule}}{\text{segundo}}$ , y que un Watt- hora (Wh) es la energía necesaria para mantener una potencia constante de un Watt (1 W) durante una hora. Sabiendo que en Colombia el costo de 1 Kw\*h es en promedio 400 pesos [2], poner un kilogramo a 420 km de altitud tendría un costo aproximado de 4.000 pesos, si de energía eléctrica habláramos.

Al sumar el costo energético a los demás costos asociados al lanzamiento, fácilmente el precio total llega al orden de entre **30 a 60 millones de pesos (10.000 a 20.000 dólares) por kilogramo** [3], lo cual nos lleva un análisis profundo de toda la masa que compone la máquina, y la ecuación del cohete ideal aparece en escena.

## IV. ECUACIÓN DEL COHETE IDEAL

Fue desarrollada por el científico Ruso Konstantin Tsiolkovsky y usa el principio de la conservación del momentum aplicado a un volumen de control que vendría siendo el motor del cohete y lo relaciona con el máximo cambio de velocidad del cohete ( $\Delta V$ ), con la velocidad máxima de los gases de escape por la tobera ( $v_e$ ) y las masas inicial y final del cohete. Es ideal pues se asume que el cohete está en el espacio o fuera del alcance de una fuerza gravitacional de consideración y la única fuerza sobre el cohete es el empuje.

Esta ecuación es una de las relaciones más fundamentales en toda la astronáutica y tiene implicaciones significativas para los vuelos espaciales.

Bajo las condiciones antes dadas la única fuerza sobre el cohete es el empuje, definido como:

$$T = -\dot{m} * V_{ex} \quad (5)$$

Donde  $\dot{m}$  es el flujo másico o la cantidad de propelente consumido por segundo, el signo negativo es por el empuje, contrario a la salida de los gases de escape.

$$T = -\frac{dm}{dt} * V_{ex} \quad (6)$$

Aplicando la segunda ley de Newton que indica que la sumatoria de fuerzas (F) sobre el cohete es igual a la masa del mismo por la aceleración que lleva

$$F = m * a \quad (7)$$

Al igualar (6) y (7) obtenemos:

$$-\frac{dm}{dt} * V_{ex} = m * \frac{dV}{dt} \quad (8)$$

Al despejar  $dV$  tenemos:

$$dV = -V_{ex} * \frac{dm}{m} \quad (9)$$

Ahora integramos a ambos lados, a la izquierda respecto a la velocidad y a la derecha respecto a la masa:

$$\int_{V_i}^{V_f} dV = - \int_{m_i}^{m_f} V_{ex} * \frac{dm}{m},$$

Ya que la velocidad de salida de los gases es constante, desarrollando las integrales resulta la relación:

$$\Delta V = V_{ex} * \ln \left( \frac{m_i}{m_f} \right) \quad (10)$$

De (10) vemos los términos  $m_i$  y  $m_f$  donde la masa inicial:

$$m_i = m_{es.} + m_p. + m_{carga} \quad (11)$$

y la masa final  $m_f$  será:

$$m_f = m_{es.} + m_{carga} \quad (12)$$

$$m_f = m_i - m_p$$

Por ende,

$$m_p = m_i - m_f \quad (13)$$

Aplicando la función exponencial a ambos lados de la ecuación (10) obtenemos la nueva relación:

$$\frac{m_i}{m_f} = e^{\frac{\Delta V}{V_{ex}}} \quad (14)$$

Todo nos va llevando a la fracción de propelente  $\frac{m_p}{m_i}$  que nos indica que porcentaje de la masa total del cohete debe ser propelente para lograr la velocidad necesaria para llegar al punto dado.

De la ecuación (14) despejamos  $m_f$  y el valor obtenido lo reemplazamos en (13) lo que nos genera la relación que buscábamos:

$$\frac{m_p}{m_i} = 1 - e^{-\frac{\Delta V}{V_{ex}}} \quad (15)$$

De (15) podemos deducir que la velocidad de salida de los gases  $V_{ex}$  es crítica en el desempeño del cohete y para los de combustible líquido está en el rango de entre los 2.000 y 4.500 m/s [4]. La velocidad requerida por el cohete para entrar a LEO es de aproximadamente 9000 m/s.

Tomando como ejemplo un cohete cuya  $V_{ex}$  sea de 4000 m/s apelando a la ecuación (15) hallamos que porcentaje de la masa total debe ser propelente para llegar a la órbita así:

$$\frac{m_p}{m_i} = 1 - e^{-\frac{9000}{4000}}$$

Dando como resultado que **el 89% de la masa debería ser propelente y el 11% restante queda para la estructura y carga lo cual deja extremadamente poco margen para diseñar la máquina.** Aumentando  $V_{ex}$  dicha relación mejora dando mayor gabela para la masa de la estructura y carga del cohete, pero a simple vista se ve que se necesita hacer algo mejor.

## V. COHETE MULTITAPA

De la ecuación del cohete ideal se puede ver que se requiere un gran cambio en la velocidad ( $\Delta V$ ) para alcanzar la órbita y para ello gran parte

de la masa del mismo debe ser propelente, tanto que no es realista concebir un cohete de una sola etapa que deje menos del 15% del total de la masa para carga y la estructura.

En un cohete de varias etapas, una vez que se consume el propelente en la primera etapa, la estructura de la primera etapa se descarta, y el cohete continúa avanzando con el propelente de la segunda etapa y así según el número de etapas que tenga. Este procedimiento nos da un aumento significativo en el deseado cambio de velocidad ( $\Delta V$ ).

En la actualidad no se usan cohetes con más de 2 etapas para las misiones como los Falcon 9 de SpaceX [5] debido a que aumenta la probabilidad de falla en la separación y la probabilidad de fallos en el encendido de los motores de las distintas etapas. Fig. 1.

Para ver claramente la ganancia en  $\Delta V$ , se comparan 2 cohetes que salen de la plataforma de lanzamiento con la misma masa inicial, uno con una sola etapa y el otro con 2 etapas.

#### A. $\Delta V$ Obtenido en un Cohete de una Etapa

Consideremos un cohete cuyo Impulso Específico (Isp) es de 450 s, cuya masa inicial es de 115



Fig. 1. Separación de la primera etapa del cohete Apollo 11 quien llegaría hasta la luna. [fuente: NASA]

Toneladas repartidas así: Una carga de 5 toneladas, una masa estructural (incluidos los motores) de 10 toneladas y 100 toneladas de combustible. ¿Cuánto  $\Delta V$  puede obtenerse si se quema todo el combustible en una sola etapa?

Primero necesitamos la  $V_{ex}$  definida como:

$$V_{ex} = Isp * g_0 \quad (16)$$

Reemplazando,

$V_{ex} = 450s * 9.8 \text{ m/s} = 4410 \text{ m/s}$ . Que es una velocidad muy alta muestra que es un cohete de los más potentes.

Ya con la velocidad de escape de los gases de combustión, acudimos a las ecuaciones (11), (12) y (10) para hallar  $\Delta V$ :

$$\begin{aligned} m_i &= m_{es.} + m_p. + m_{carga} \\ m_i &= 10 \text{ Ton} + 100 \text{ Ton} + 5 \text{ Ton} \\ m_f &= m_{es.} + m_{carga} \\ m_f &= 10 \text{ Ton} + 5 \text{ Ton} \\ \Delta V &= 4410 \text{ m/s} * \ln \left( \frac{115}{15} \right) \end{aligned} \quad (17)$$

El  $\Delta V$  para este cohete que nos da la ecuación (17) con las condiciones iniciales es de aproximadamente  $\Delta V = 8983 \text{ m/s}$ .

#### B. $\Delta V$ Obtenido en un Cohete de 2 Etapas

Supongamos que un cohete con la misma masa a la del ejemplo A, lo dividimos en 2 etapas iguales quiere decir que cada etapa tiene la mitad del propelente original y la masa de la estructura original, se divide en dos, siendo la misma para ambas etapas.

Primero hallamos el  $\Delta V_1$  de la primera etapa teniendo mucho cuidado con la división en las masas del cohete.

$$\Delta V_1 = V_{ex} * \ln \left( \frac{m_{i1}}{m_{f1}} \right), \quad (18)$$

Dónde:

$$\begin{aligned} m_{i1} &= m_{es.1} + m_{p1.} + m_{es.2} + m_{p2.} + m_{carga}, \\ m_{i1} &= (5 \text{ Ton}) + (50 \text{ Ton}) + (5 \text{ Ton}) + (50 \text{ Ton}) + (5 \text{ Ton}) = 115 \text{ Ton} \end{aligned}$$

La masa final 1 será la inicial 1 menos la masa del propelente 1

$$m_{f1} = (5\text{Ton}) + (5\text{Ton}) + (50\text{Ton}) + (5\text{Ton}) = 65,000 \text{ kg o } 65 \text{ Toneladas.}$$

Con las masas halladas, reemplazamos en (18) y se obtiene un  $\Delta V_1$  de aproximadamente 2,516 m/s.

Ahora hallamos el  $\Delta V_2$  de la segunda etapa teniendo en cuenta el manejo de las masas del cohete en este periodo.

$$m_{i2} = m_{es.2} + m_{p2.} + m_{carga},$$

$$m_{i2} = 5000 \text{ kg} + 50000 \text{ kg} + 5000 \text{ kg} \quad (19)$$

Dando un total de  $m_{i2}$  60000 kg o 60 toneladas. Nótese que en la masa inicial 2 ya se liberó la masa estructural de la primera etapa y se consumió el propelente de esta.

Siguiendo el procedimiento vemos que la masa final de la etapa 2  $m_{f2}$  será:

$$m_{f2} = m_{es.2} + m_{carga},$$

$$m_{f2} = 5 \text{ Ton} + 5 \text{ Ton} = 10 \text{ Ton.} \quad (20)$$

Con las masas iniciales y final de éste periodo de vuelo, el cambio en la velocidad de esta segunda etapa será de:

$$\Delta V_2 = V_{ex} * \ln \left( \frac{m_{i2}}{m_{f2}} \right), \quad (21)$$

Dándonos un  $\Delta V_T$  de **7910 m/s**, El último paso es hallar el cambio de velocidad total  $\Delta$  sumando los resultados obtenidos:

$$\Delta V_T = \Delta V_1 + \Delta V_2$$

$$\Delta V_T = 2516 \text{ m/s} + 7910 \text{ m/s} = 10426 \text{ m/s.} \quad (22)$$

Combinando (18) y (21) obtenemos la siguiente relación compacta para hallar el cambio de velocidad total:

$$\Delta V_T = V_{ex} * \ln \left( \frac{m_{i2} * m_{i1}}{m_{f2} * m_{f1}} \right), \quad (23)$$

Es así como vemos que en dos cohetes con la misma masa inicial pero uno con dos etapas y el otro solo con una, los cambios de velocidad entre ambos es considerable siendo en el de una etapa de  **$\Delta V$  de 8983m/s; mientras que el de dos etapas logra un  $\Delta V_T$  de 10426 m/s. Por lo que ésta técnica genera un aumento del cambio de velocidad de**

**1443 m/s evidenciando la ventaja para mandar carga a mayores altitudes de una forma más eficiente.**

## VI. EFECTOS DE LA GRAVEDAD Y LA RESISTENCIA ATMOSFÉRICA DURANTE EL LANZAMIENTO

La ecuación del cohete ideal se derivó tomando como referencia un lanzamiento desde el espacio, sin embargo, los cohetes salen desde plataformas aquí en la tierra la cual tiene una atmosfera y un campo gravitacional que se debe atravesar, durante el proceso la nave entra a una velocidad supersónica con las correspondientes ondas de choque hasta llegar al punto de Max Q [6], donde la integridad de la estructura general es más vulnerable.

Al despegar de una superficie planetaria, no solo la velocidad de salida de los gases  $V_{ex}$  es importante, el equilibrio entre el empuje y el peso es enormemente relevante, el termino **exceso de empuje al despegue** definido como el empuje máximo menos el peso inicial debe ser un número positivo. Por ejemplo, el Saturno V famoso por sus misiones a la luna, cuyo peso al despegue era de 6.4 millones de libras tenía un empuje total con sus 5 motores F1 de 7.5 millones de libras. Lo que nos da un exceso de empuje  $T_{exc}$ .

$$T_{exc} = \text{Empuje Total} - \text{Peso al despegue}$$

$T_{exc} = 7.5 - 6.4 = 1.1$  millones de libras es el exceso de empuje, con este dato podemos hallar la aceleración inicial al despegue así:

$$a_{des.} = \frac{T_{exc.}}{\text{Peso inicial}} = \frac{1.1}{6.4} = 0.17g \text{ por lo que al despegar se podía apreciar la poca velocidad que tomaba durante sus primeros segundos de vuelo. Algunos cohetes tienen una relación empuje peso de hasta 180.}$$

## VII. ¿QUÉ SIGNIFICA ENTRAR EN LA ÓRBITA TERRESTRE?

Una órbita es la trayectoria repetitiva que describe un objeto en el espacio a causa de la fuerza gravitatoria combinada de los cuerpos [7], las prin-

cipales son las elípticas como las del sistema solar o las circulares como las que tienen los satélites alrededor de la tierra. Para hablar de órbitas terrestres necesitamos la relación entre la gravedad, las masas de los cuerpos y la distancia entre ellos, para eso usamos la teoría gravitacional de Newton.

$$F_{grav} = \frac{G * M_1 * m_2}{R^2} \quad (24)$$

Donde  $G$  es la constante gravitacional,  $M_1$  es la masa de la tierra,  $m_2$  la masa del cuerpo que orbita y  $R$  la distancia entre el centro de la tierra hasta el centro del objeto orbitante.

Para hallar la aceleración y velocidad del cuerpo que orbita procedemos a reorganizar (24):

$$\frac{F_{grav}}{m_2} = \frac{G * M_1}{R^2} \text{ pero la aceleración es centrípeta por lo cual}$$

$$\frac{F_{grav}}{m_2} = \frac{V^2}{R} \quad (25)$$

Donde  $V^2$  es la velocidad circular al cuadrado. Al reemplazar (25) en (24) obtenemos la velocidad circular que buscábamos:

$$V^2 = \frac{G * M_1}{R} \quad (26)$$

La ecuación (26) muestra que la velocidad circular depende de la masa terrestre y la distancia entre los cuerpos, es decir que 2 objetos con masas distintas pero a la misma distancia de la tierra, tendrán la misma velocidad circular.

Finalmente con la velocidad circular podemos hallar el periodo orbital  $P$  definido como:

$$P = \frac{2\pi * R}{V} \text{ o } P^2 = \frac{4 * \pi^2 * R^3}{G * M_1} \quad (27)$$

El período orbital para LEO es de 90 minutos, para GEO (Órbita Geoestacionaria) es de 24 horas muy usada por compañías de televisión satelital.

## VIII. CONCLUSIONES

Entrar en órbita quiere decir que la única fuerza que actúa sobre el cuerpo es la fuerza gravitacional por lo que está en la llamada caída libre eterna alrededor del cuerpo masivo.

Enviar carga a distintas orbitas tiene grandes costos, un solo kilogramo de masa tiene una energía

mecánica de aproximadamente 36 Mega joules a una altura de 400km y a 8km/s; así mismo la cantidad de propelente necesario para lograr estos numeros es bastante alta. Por ello un cohete de 2 etapas que da un aumento significativo de  $\Delta V$  o cambio total de velocidad del cohete, es necesario para llevar carga a la altitud deseada y obtener una ganancia por esa actividad.

Al revisar la ecuación ideal del cohete se aprecia que al incrementar la velocidad de salida de los gases producto de la combustión es decisivo para el desempeño del motor cohete. Entender que el exceso de empuje es vital para superar la densidad de la atmosfera y el campo gravitacional terrestre, siendo el empuje una fuerza importante no solo para acelerar la nave sino también para desacelerar y poder aterrizar o realizar ajustes durante la trayectoria trazada.

## IX. REFERENCIAS

- [1] H. Riebeek, Earth Observatory [online]. Usa: Goddard Space Flight Center, 2009 Disponible en: <https://earthobservatory.nasa.gov/Features/OrbitsCatalog/>
- [2] Codensa, Nuevos Valores del Kilovatio en Colombia [online]. Disponible en: <https://www.codensa.com.co/hogar/valor-del-kilovatio-en-colombia-disminuye>
- [3] J. Hoffman, Introduction to Aerospace Engineering [online]. MIT, 2016. Disponible en: <https://courses.edx.org/courses/course-v1:MITx+16.00x+3T2016/course/>
- [4] Physic Forum, Rocket Engine Exhaust Velocity [online]. Disponible en: <https://www.physicsforums.com/threads/rocket-engine-exhaust-velocity.296023/>.
- [5] SpaceX, Falcon 9 and Dragon to Return Astronauts to space, [online]. Disponible en: <http://www.spacex.com/falcon9>
- [6] Wikipedia, Máximo Dynamic Pressure, [online]. Nasa, 2017. Disponible en: [https://en.wikipedia.org/wiki/Max\\_Q](https://en.wikipedia.org/wiki/Max_Q)
- [7] F. Wild, What is an orbit? [online]. Nasa, 2017 Disponible en <https://www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/nasa-knows/what-is-orbit-58.html>



<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

# UNA PROPUESTA PARA LA ENSEÑANZA DE LA DERIVADA BASADA EN EL APRENDIZAJE AUTÓNOMO

## *A proposal for the teaching of the derivative based in autonomous learning*

ALFONSO GÓMEZ MULETT<sup>1</sup>

*Recibido:16 de mayo de 2017. Aceptado:30 de mayo de 2017*

*DOI:<http://dx.doi.org/10.21017/rimci.2017.v4.n8.a28>*

### RESUMEN

Este trabajo presenta una propuesta para la enseñanza de la derivada en un curso universitario de cálculo, con el propósito de proveer un método participativo basado en el aprendizaje autónomo. La ejecución de la propuesta propone un método de cuatro fases apoyado en trabajo guiado, el aprendizaje significativo y el trabajo colaborativo; finalmente, se anotan algunas recomendaciones para alcanzar el éxito de la propuesta después de realizarse una validación con dos grupos de estudiantes, la cual reveló la necesidad de preparar previamente los estudiantes para aprender autónomamente.

**Palabras clave:** Enseñanza de la matemática, derivada, aprendizaje autónomo, aprendizaje significativo.

### ABSTRACT

This paper presents a proposal for the teaching of derivate in a academic course of calculus, in order to provide a participatory approach based on autonomous learning. The implementation of the proposal exhibits a four-phase method supported on significative learning and collaborative work; finally, some recommendations are noted for success of the proposal, after validation performed with two groups of students, which revealed the need to prepare in advance for students to learn autonomously.

**Keywords:** Mathematics teaching, derivate, autonomous learning, significative learning.

## I. INTRODUCCIÓN

EN EL aprendizaje del cálculo la primera dificultad que aparece es el concepto de límite. Abstractar la noción de límite es un reto para el estudiante que empieza en el estudio de la matemática universitaria, el cual crece en complejidad al ser aplicado a la definición de derivada, donde se relacionan aspectos geométricos y físicos. Definir la derivada a partir del concepto de límite exige al estudiante enfrentarse a la abstracción y la transferencia de dicho concepto, generalmente en términos geométricos; por una parte, la abstracción posibilita aprender a aprender matemática; la transferencia, transportada al concepto de pen-

diente de una recta, en este caso tangente a una curva, lleva el estudiante a aplicar el concepto en situaciones específicas.

Con el objeto de superar las dificultades señaladas, varios investigadores han presentado propuestas sobre la enseñanza de la derivada, teniendo en cuenta diferentes puntos de vista. Para destacar algunos trabajos recientes, Álvarez [1] propone trabajar la derivada con base en problemas geométricos, García [2] plantea un modelo para la comprensión del concepto de derivada, Lozano [3] propone la enseñanza de la derivada obviando la noción de límite, Cardona [4] elabora una propuesta basada en la razón de cambio como teoría

<sup>1</sup> Doctor en Educación, Magister en Matemáticas aplicadas, profesor Programa de Matemáticas Universidad de Cartagena, Colombia. Correo electrónico: [agomezm1@unicartagena.edu.co](mailto:agomezm1@unicartagena.edu.co)

base y Martínez y Calao [5] implementan un sitio web para la enseñanza del cálculo con un variado repertorio de estrategias de software, opciones de consulta y empleo de tics.

A pesar de los esfuerzos realizados por resolver el problema de la enseñanza de la derivada, las dificultades aún existen, en parte porque los textos utilizados en los cursos de cálculo diferencial son bastante similares en la presentación de los contenidos, sacrifican el desarrollo conceptual para dar espacio al trabajo algorítmico y su mecanización mediante la solución de ejercicios [6]; pero esto no es una excusa para lograr una buena enseñanza, ya que la responsabilidad en la conducción de los procesos de enseñanza y aprendizaje recae en el profesor, como elemento clave en el éxito de la implementación de cualquier propuesta didáctica [7], de allí que con esta propuesta se presenta una alternativa para ayudar a la solución del problema relacionado.

## II. APRENDIZAJE AUTÓNOMO

Cuando se habla de aprendizaje autónomo es necesario entrelazar dos conceptos: aprendizaje y autonomía; pero no basta solo con entrelazarlos, también se debe analizar y describir el entorno circundante de estos dos conceptos, y tomar las condiciones necesarias para hacer el enlace teniendo en cuenta las posibles implicaciones del concepto.

Aunque la autonomía es un concepto bastante antiguo, fue Jean Piaget en 1932 quien hizo notar su importancia en el ámbito educativo. En *El juicio moral del niño* hace una amplia exposición de este término y lo encuadra en el desarrollo cognitivo, en términos generales la autonomía se refiere a la competencia que tiene cada quien para comportarse de acuerdo con su concepción acerca de la vida, la moral, la sociedad y lo ético, esto es contrario a entender la autonomía como individualismo, egoísmo o libertinaje. Aunque Piaget habla de autonomía como meta o punto de llegada del desarrollo individual en las distintas dimensiones de la actividad de la persona como son lo moral, lo social y lo intelectual, autonomía es también la base de la dignidad de la naturaleza humana, es aquello por lo cual actuamos de acuerdo con nuestros propios criterios, convencidos de lo que hacemos sin atentar contra los demás, entonces, la autonomía

es algo por lo cual luchamos y vamos ganando poco a poco en el transcurrir de nuestras vidas; la autonomía se refiere entonces a una moral fundamentada en el respeto mutuo, la solidaridad y la reciprocidad [8].

Considerando la autonomía dentro de lo moral, ella implica la capacidad del individuo para emitir juicios morales, tomar decisiones propias, valorar sus acciones y emitir juicios sobre lo correcto y lo incorrecto con base en los principios de justicia, trascendencia, honestidad y valor de la vida; la autonomía implica negociación con otro u otros en busca de beneficios de interés común. Dentro de lo intelectual la autonomía implica la capacidad que debe tener el individuo para conocer su potencial cognitivo, explorarlo y desarrollarlo a través de la investigación y la autoevaluación, es decir, somos autónomos intelectualmente cuando podemos progresar en la construcción de nuestros conocimientos [8].

Concibiendo el aprendizaje como un “proceso intrapersonal e interpersonal de carácter social, cultural y disciplinar que está anclado contextualmente y no puede extenderse sino dentro del sistema interactivo de elementos que lo producen” [9]; y la autonomía, como capacidad de transformación en cada individuo para producir nuevas informaciones y aprender significativamente [10] o como poder de decisión para mantener o reubicar las estructuras conceptuales de acuerdo con el punto de vista individual, contrastándolo con las otras personas, la articulación de estos dos conceptos permite establecer un tipo particular de aprendizaje llamado aprendizaje autónomo. Como proceso intrapersonal necesita de la automotivación, autorregulación, aceptación de responsabilidades, definir objetivos y metas, organizar el tiempo, aprender de manera independiente, aprender de manera significativa y acoger nuevas formas de aprender involucrando estrategias adecuadas; es decir, aprender a aprender.

De acuerdo con lo expresado, “el aprendizaje autónomo es un proceso educativo que estimula al alumno para que sea autor de su propio desarrollo y en especial que construya por si mismo su conocimiento” [11]; es un proceso donde el estudiante autorregula su aprendizaje y toma conciencia de sus propios procesos cognitivos y socio-afectivos, entendiendo la toma de conciencia

como metacognición [12]; el aprendizaje autónomo es un aprendizaje independiente, autorregulado, consciente, progresivo, autocrítico y emancipatorio, en el cual un individuo que interactúa con su medio se convierte en profesor de sí mismo para ir en la búsqueda de su propia instrucción o educación. Un aprendiz autónomo además de aprender contenidos o conocimientos debe aprender el aprendizaje mismo, aprender a aprender, para pasar de una orientación dirigida a una auto orientación.

Lo anterior quiere decir que el aprendizaje autónomo se desarrolla de acuerdo con las capacidades o estructura cognitiva de cada persona, permite en todo momento enfrentar al individuo a la toma de decisiones, depende de la motivación intrínseca, implica relaciones con las demás personas de manera cooperativa, permite la autorregulación y la autoevaluación, motiva la solidaridad, permite hacer planes sobre lo que se desea estudiar, fortalece el sentido de responsabilidad y se realimenta a sí mismo según los riesgos de las decisiones tomadas [13].

Según Aebli [14], para convertirse en un aprendiz autónomo la persona debe estar en capacidad de:

- A. Establecer contacto, por sí mismo, con cosas e ideas.
- B. Comprender por sí mismo fenómenos y textos.
- C. Planear por sí mismos acciones y resolver problemas.
- D. Ejercitar actividades por sí mismo, manejar información mentalmente.
- E. Mantener la motivación para la actividad y para el aprendizaje.

Teniendo en cuenta lo expresado hasta ahora, puede decirse que el aprendizaje autónomo lleva al individuo a actuar por su propia cuenta, despertando en él la motivación intrínseca para actuar para autodirigirse y actuar en forma independiente, además, con sus atributos y factores de éxito se considera como una alternativa para formar individuos autónomos capaces de protagonizar su propio aprendizaje, capaces de tomar decisiones

acertadas y capaces de emprender buenas acciones para sí mismo y para la sociedad a la cual pertenecen, capaces de autoevaluarse, de adquirir habilidades para comunicarse con los demás, de mantener una reestructuración conceptual permanente, de controlar sus emociones, de asumir un rol de estudiante independiente, de ejercer control valorativo, de aprender a aprender y de desarrollar sus propias estrategias [15].

### III. APRENDIZAJE AUTÓNOMO Y MATEMÁTICA

En el caso del aprendizaje de la matemática debe tenerse en cuenta que su método de construcción es el deductivo; no obstante, antes de llegar a la deducción la matemática toma en parte algunos supuestos del método científico, esto es, primero se observa la ocurrencia de un hecho matemático, se prueba varias veces la misma ocurrencia en diferentes situaciones, se generaliza la ocurrencia mediante una ley o teorema, se demuestra la validez del teorema y luego se derivan algunas inferencias a partir de este aplicándolo a casos particulares.

Aprender matemática no es solamente hacer deducciones a partir de una acumulación de segmentos de información, colocados en una secuencia ordenada y rígida utilizando conceptos y procedimientos; aprender matemática es también activar los conocimientos en torno a procesos cognitivos dinámicos hacia la expansión de esos conocimientos, es abstraer, es inventar, es resolver problemas, es conjeturar, es aplicar y transferir para encontrarle un verdadero sentido a esos conocimientos [16].

Para lograr aprender matemática debe ponerse en ejecución un conjunto coordinado de técnicas o tácticas de aprendizaje y habilidades o destrezas, que lleven a la utilización de recursos de pensamiento para alcanzar un aprendizaje autónomo. Estas técnicas de aprendizaje incluyen elaboración de esquemas, resúmenes, ensayos, reescritura, etc., de las cuales debe saberse por qué, cómo y cuándo utilizarlas a fin de que el aprendizaje cumpla una función auto reguladora [12]. El logro del aprendizaje demanda entrenar a los alumnos enfrentándolos a situaciones complejas para que estos desarrollen su autonomía y su creatividad, promuevan su pensamiento crítico y la imaginación

para que ellos aprendan por sí solos con la orientación del profesor, evitando los excesos para no atender contra la creatividad y la autonomía.

Lo anteriormente señalado indica que el docente debe ser un guía que conduzca a una creatividad meticulosamente concebida y planeada en torno a la motivación, el reforzamiento de la autoestima y el compartir las experiencias, teniendo en cuenta que la autonomía como finalidad de la educación implica el no poder predecir exactamente los resultados esperados debido a errores que deben ser aprovechados para estimular el pensamiento creativo reduciendo el temor a equivocarse.

Expuesta la importancia de la autonomía en el desarrollo de la matemática, es necesario considerar que el conocimiento lógico matemático se construye a través de un proceso de abstracción. Piaget [17] distinguió dos tipos de abstracción: la empírica y la reflexiva, siendo esta última la responsable de la construcción del conocimiento lógico matemático, entonces puede decirse que sin abstracción no se aprende a aprender matemática y con esto no se están negando otros asuntos básicos necesarios como la intuición, lo empírico y lo heurístico; la abstracción es la prueba de haber logrado aprender pero a través de un proceso en el cual necesariamente se ha tenido en cuenta los otros aspectos y etapas o niveles dentro de la construcción del saber matemático.

En el nivel básico, el papel del maestro es mostrar ciertos procedimientos para ayudar al niño en el desarrollo cognoscitivo de las ideas matemáticas y en la construcción de la teoría con base en lo concreto para llegar a lo abstracto; en el nivel medio, la enseñanza y el aprendizaje incluyen una apreciación de las razones que justifican las construcciones logrando la abstracción; en el nivel superior, el aprendizaje de la matemática se concibe como investigación y descubrimiento mediante la utilización explícita de los principios cognitivos, en este nivel se concibe que el objeto de estudio de la matemática son los conceptos abstractos [18].

Los diferentes niveles de educación o de construcción del conocimiento, siguen el camino de lo concreto a lo abstracto. Lo concreto se refiere a un conjunto de estrategias agrupadas con el nombre de heurística [19]; esta juega un papel importante

en el descubrimiento de las teorías matemáticas, se identifica con el descubrimiento, el ensayo, la observación, la experimentación teórica; con base en ella, un estudiante autónomo debe resolver problemas con relativa facilidad y descubrir qué puede hacer y hasta dónde puede llegar; para ello, debe dar libertad a su creatividad y a la imaginación relacionando lo concreto con lo abstracto [20].

La solución de problemas facilita el aprendizaje autónomo del cálculo diferencial siempre que los alumnos sean capaces de aplicar los conocimientos en una situación particular, previo establecimiento de precondiciones esenciales y se mantengan las expectativas de éxito para la motivación. La solución de problemas a través de ejemplos adecuados involucra la aplicación de la teoría relacionando conceptos; es decir, transporta conocimientos, habilidades, estrategias o predisposiciones de un contexto a otro. En investigaciones sobre la enseñanza del cálculo [3], se ha comprobado ciertas dificultades con la conceptualización de la derivada como límite; también se ha comprobado existen ciertas dificultades con la conceptualización de algunos temas y en particular con el concepto de derivada como límite [2]; también se ha justificado, que mientras el estudiante no tenga los conceptos previos claros como el de límite, tendrá dificultades para entender el concepto de derivada [21].

El sentido común del concepto de límite se convierte en una barrera difícil de sobrepasar que dificulta a veces la solución de problemas donde se aplica la derivada, y es aquí donde se pone a prueba la capacidad de los alumnos para resolver dichos problemas. Los profesores, como mediadores del aprendizaje, deben enfatizar en el fomento de actividades que conduzcan al logro de la transferencia a través de la solución de problemas, proporcionando oportunidades para que el estudio se convierta en una ingeniería de conocimientos, comenzando con la apropiación de la teoría, la ejercitación de conceptos y la aplicación teórica de estos como requisitos previos para transferir a partir de la metodología para resolver problemas [22].

#### IV. ENSEÑANZA DE LA DERIVADA

El espectro de las investigaciones sobre temas relacionados con el cálculo, y en particular con la enseñanza de la derivada es bastante amplio como

se había señalado anteriormente. La construcción del concepto de derivada se vuelve en ocasiones difícil, inclusive para estudiantes de ingeniería, debido a la complejidad de procesos que intervienen en el cálculo: abstracción, demostración, generalización, representación, interpretación, entre otros [23]; en este mismo sentido Moreno [7], afirma que las acciones encaminadas para enseñar la derivada, están aún lejos de suponer una verdadera comprensión de los conceptos fundamentales del cálculo, situación observada cuando el estudiante debe transferir el concepto en situaciones prácticas.

Por otra parte, la matemática enseñada en el nivel medio de educación se caracteriza por el dominio de los procesos finitos y el manejo algorítmico e instrumental, y aunque el último curso del currículo de matemática corresponde al cálculo diferencial e integral, su introducción se hace de manera mecánica, calculándose derivadas de funciones mediante la manipulación directa de fórmulas aprendidas de memoria, sin tener una idea clara del trabajo realizado [1]. Así las cosas, los estudiantes aprenden la derivada de esta manera, porque los docentes en su mayoría se limitan a transmitir los conceptos tal como aparecen en los libros sin un análisis de estos dedicando el mayor tiempo de la clase a la repetición de algoritmos con ejercicios [24], olvidándose de que la derivada está atada a una red de conceptos: función, límite, recta tangente, incremento, variación, razón de cambio y velocidad, sin los cuales es difícil lograr su comprensión.

En el panorama actual de los problemas relacionados con la enseñanza del cálculo, tanto en la enseñanza media como en la universitaria se presenta aún muchos interrogantes, relacionados con la dificultad de los estudiantes para la comprensión del concepto de derivada, dificultad proveniente de otras dificultades esenciales. Se consideran dificultades esenciales las presentes en conceptos relacionados con procesos infinitos como los límites, sucesiones y series, derivada e integral [25].

Según Dolores [6], el aprendizaje de la derivada se dificulta porque en los contenidos de los libros de cálculo se sigue un enfoque abstracto, guardando poca relación con los aspectos geométricos y físicos que motivaron la definición de

derivada debido a la falta de orientaciones metodológicas. Por otra parte, algunos profesores en el medio universitario dan por supuesto que partiendo de las definiciones matemáticas y su ilustración a través de la solución de ejercicios y problemas, se garantiza la enseñanza efectiva de los contenidos matemáticos.

Para Catsigeras [26], las mayores dificultades en el aprendizaje de los estudiantes al ingreso en las carreras universitarias están en el curso de cálculo diferencial, por ser este un curso formal con contenidos estrictos aparentemente sencillos pero desconectados en principio de las experiencias cotidianas; además, los textos presentan los conceptos en su forma más elaborada, haciendo invisible el proceso para llegar hasta ese punto.

Entre algunas de las propuestas para superar las dificultades en el aprendizaje de la derivada en un primer curso universitario de cálculo puede citarse a Dolores [27], basada en la comprensión del concepto a partir de las ideas variacionales; Carabús [28], propone estudiar la derivada a partir de la noción de razón de cambio; y apartándose un poco del enfoque clásico presente en la mayoría de los textos de cálculo, Vargas, Torres y Quintero [29] plantean una propuesta para la enseñanza de la derivada basada en la definición de Caratheodory.

Examinando las propuestas referenciadas para la enseñanza, se nota cierto sesgo hacia lo tradicional, donde la responsabilidad es asumida por el profesor [15]. Cambiando un poco de dirección, y pretendiendo que el estudiante aprenda a aprender y aprenda significativamente, se plantea aquí una secuencia didáctica para la enseñanza de la derivada basada en el aprendizaje autónomo, estudiando los contenidos estandarizados sobre la derivada, tal como aparecen en los libros tradicionales de cálculo, teniendo en cuenta que en definitiva el estudiante es quien aprende, aprovechando los recursos bibliográficos a su disposición.

## V. PLANTEAMIENTO DE LA PROPUESTA

En virtud de que el trabajo autónomo del estudiante puede llevarse a cabo mediante una variedad de métodos [30], y el aprendizaje es “construcción del sentido del conocimiento donde se privilegian los procesos por medio de los cuales

el estudiante codifica, organiza, elabora, transforma e interpreta información” [30], el propósito de esta propuesta es desarrollar en los estudiantes habilidades metacognitivas, cognitivas y hábitos académicos para la aplicación del concepto de derivada en la solución de problemas geométricos, físicos y de variación; adicionalmente, lograr la transferencia del concepto de derivada en la solución de problemas mediante el aprendizaje autónomo y la solución de problemas. La metodología de trabajo propuesta se desarrolla en cuatro fases, cada una de ellas consta de contenidos, intencionalidad, actividades previas, actividades de desarrollo y actividades de cierre, con sus respectivas instrucciones.

### 1) Primera fase: Apropriación del concepto de derivada

La aproximación a la derivada parte del concepto de tasa de variación en los contextos geométrico y físico de manera específica como pendiente de la secante y velocidad media respectivamente. Estas situaciones problemáticas son aproximadas a la velocidad instantánea y pendiente de la recta tangente, y mediante aproximaciones sucesivas involucrando el límite de una función primero intuitivamente y luego formalmente, se llega a la definición de derivada.

**Contenido:** El origen del cálculo, recta tangente a una curva, velocidad instantánea, definición de derivada y relación entre derivada y continuidad.

**Intencionalidad:** Inferir la derivada como límite de una razón incremental, asociar el concepto de derivada con el concepto de límite, relacionar pendiente de la recta tangente a una curva con la derivada y adquirir habilidades para interpretar lecturas matemáticas.

**Actividades previas:** Revisar los conceptos de recta secante y tangente, ecuación de la recta.

**Actividades de desarrollo:** Hacer surgir el concepto de derivada.

**Actividades de cierre:** Reafirmar la conceptualización y verificar el aprendizaje utilizando estrategias de elaboración que impliquen conectar el concepto de límite con el de derivada.

### 2) Segunda fase: Extensión del concepto.

La definición de derivada se aplica para obtener las fórmulas del álgebra de derivadas.

**Contenido:** Derivada de sumas, productos y cociente de funciones; derivada de la función potencial.

**Intencionalidad:** Obtener fórmulas para las operaciones con funciones, aplicar las fórmulas y esclarecer dudas sobre los procedimientos algebraicos utilizados.

**Actividades previas:** Activar conceptos previos sobre suma, producto y cociente de funciones; leyes de exponentes, simplificación algebraica y binomio de Newton.

**Actividades de desarrollo:** Deducir las fórmulas para la derivada de suma, producto y cociente de funciones.

**Actividades de cierre:** Aplicar las fórmulas obtenidas a través de ejercicios utilizando aprendizaje autónomo, aprendizaje colaborativo y tutoría.

### 3) Tercera fase: Aplicación teórica de los conceptos.

Similar a la fase anterior, el concepto de derivada es transferido a funciones compuestas e implícitas.

**Contenido:** Regla de la cadena, función definida en la forma implícita, derivación implícita, derivada de potencias racionales, derivadas de orden superior.

**Intencionalidad:** Identificar funciones expresadas en forma explícita e implícita, entender la aplicación de la regla de la cadena, calcular la derivada de una función expresada en forma implícita, aplicar la derivada implícita para obtener la derivada de una potencia racional.

**Actividades previas:** Realimentar las reglas de derivación obtenidas en la fase dos, activar el concepto de función compuesta.

**Actividades de desarrollo:** Análisis de la regla de la cadena, utilizar la regla de la cadena en la obtención de la derivada implícita, aplicar la

derivada implícita en la obtención de la derivada de una potencia racional, obtención de las derivadas de orden superior de una función.

**Actividades de cierre:** Afianzamiento de los conceptos adquiridos con ejercicios.

#### 4) Cuarta fase: Transferencia de aprendizaje.

El concepto de derivada es aplicado a situaciones donde se presentan problemas que involucran la transferencia del concepto.

**Contenido:** Recta tangente y normal a una curva, velocidad y aceleración, problemas de variables relacionadas.

**Intencionalidad:** lograr que el estudiante haga la transferencia del concepto de derivada en la solución de problemas relacionados con el contenido a estudiar, activar la metacognición, aplicar la metodología de Polya [22] en la solución de problemas, discutir en pequeños grupos la solución de problemas.

**Actividades previas:** Estudiar la metodología de Polya para resolver problemas, hacer realimentación de la ecuación de la recta.

**Actividades de desarrollo:** Mostrar ejemplos de aplicación, resolver problemas de aplicación primero en forma colaborativa y luego autónomamente utilizando la metodología de Polya, revisar el proceso metacognitivo empleado para llegar a la solución de un problema.

**Actividades de cierre:** Síntesis plenaria de los contenidos desarrollados, reflexión en pequeño grupo y en plenaria sobre el aprendizaje significativo logrado, auto reflexión para revisar la metacognición como estrategia del control de la comprensión.

En cada fase se da un conjunto de instrucciones que deben seguirse en la realización del trabajo individual y grupal, los materiales a utilizar se escogen previamente, para ello puede recurrirse a un texto guía o se elabora material pertinente con el tema; los ejercicios deben seguir una secuencia gradual de dificultad para llevar al estudiante al aprendizaje autónomo. Cada actividad de cierre incluye autoevaluación, coevaluación y

heteroevaluación. Esta última debe diseñarse en forma tal que corresponda a la intencionalidad, teniendo en cuenta que lo fundamental es la apropiación que haga el estudiante de la metodología del trabajo.

## VI. VALIDACIÓN EN LA PRÁCTICA

Es pertinente resaltar, que antes de validar la propuesta se hizo un trabajo introductorio de ambientación para el aprendizaje autónomo, utilizando la metodología de la clase integral [31], donde la intervención del profesor se da al comienzo de cada clase y luego el trabajo previamente planeado se lleva a cabo en pequeños grupos, con una actividad de control al final de cada sesión. Después de lo anterior, se realizó una prueba piloto con los dos grupos de estudiantes de primer semestre de ingeniería a los cuales se aplicó la fase previa en el tema precedente, límite y continuidad de una función.

El primer grupo estuvo conformado por 18 estudiantes todos ellos con el libro de texto y herramientas computacionales y el segundo por 42 estudiantes teniendo solamente el libro de texto como recurso. Cada grupo recibió una guía de trabajo donde se especificaba el trabajo a realizar durante dos semanas, con cinco horas de clase por semana. Al iniciarse el trabajo hubo dificultades debido al alto grado de dependencia que mostraron los estudiantes, ya que la costumbre es recibir clases magistrales; no obstante, después de algunas orientaciones la implementación de la estrategia avanzó con algunos tropiezos durante la ejecución de las tres primeras fases, notándose una tendencia hacia la mecanización de algoritmos y conceptos en vez de la aprehensión del concepto de derivada.

Después de la primera fase los estudiantes asimilaron el método de trabajo, observándose un progreso gradual en el aprendizaje autónomo y una tendencia a desaprender la forma tradicional de enseñanza; no obstante, hubo algunas dificultades en la comprensión de las demostraciones debido a que la palabra demostrar era algo novedoso para los estudiantes; además, entender la lógica de la demostración, apoyados en el sentido común, se convirtió en un obstáculo para entender los aspectos formales de la matemática.

## VII. CONCLUSIONES

La propuesta diseñada presenta una alternativa para sustituir la enseñanza tradicional transmissionista e instrumental, utilizando un método participativo de enseñanza basado en el aprendizaje autónomo, con la mediación del aprendizaje significativo, buscando que el estudiante pueda activar sus habilidades metacognitivas, cognitivas, comunicativas, emocionales y sociales, en beneficio de conseguir hábitos académicos mejorando el avance conceptual.

El éxito de la propuesta depende de la motivación alcanzada por el estudiante y la realización de un adecuado proceso de evaluación durante la ejecución, encaminado a la adquisición de un alto grado de responsabilidad académica por parte del estudiante; también depende del cumplimiento de las tareas asignadas y el empeño del profesor en orientar con acierto las diferentes tareas consignadas en la planeación.

Con base en los resultados de la validación puede decirse que se superó la dificultad de conceptualización de la derivada asociada al concepto de pendiente, estableciéndose su significado como un límite particular aplicado a una razón incremental en un proceso infinito desde lo infinitamente pequeño, sin encontrar diferencias significativas entre los grupos, pues la tenencia de computadores no fue determinante en la adquisición del concepto, ya que no hubo énfasis en los aspectos numéricos. La transferencia del aprendizaje se logró satisfactoriamente.

Finalmente, no debe olvidarse que es el estudiante quien aprende con ayuda de sus representaciones mentales y sus conceptos previos [26]. Aprender autónomamente implica un proceso constructivo interno, del cual el mismo individuo es el responsable, impulsado por la automotivación y controlado por la metacognición.

## REFERENCIAS

- [1] D. Álvarez, H. Colorado, H. and L. Ospina. Una propuesta didáctica para la enseñanza de la derivada. *Revista Científica, Edición especial*, pp.104-110, 2013.
- [2] M. García. Derivada: una propuesta para su comprensión. [Actas de la XIII CIAEM], Recife-Brasil. Recuperado de [http://www.cimm.ucr.ac.cr/ocs/index.php/xiii\\_ciaem/xiii\\_ciaem/paper/view/2056/901](http://www.cimm.ucr.ac.cr/ocs/index.php/xiii_ciaem/xiii_ciaem/paper/view/2056/901), 2011
- [3] Y. Lozano. *Desarrollo de la derivada sin la noción de límite*. Tesis de titulación. Universidad Konrad Lorenz, Bogotá, 2011.
- [4] R. Cardona. *Una propuesta para la enseñanza de la derivada como razón de cambio en estudiantes de undécimo grado*. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2011.
- [5] C. Martínez, C and G. Calao. Aplicación del sitio web "Virtual Mates" en la enseñanza de las matemáticas. *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, vol. 8, pp.1-11, 2012.
- [6] C. Dolores. Una propuesta didáctica para la enseñanza de la derivada. En Cantoral, R (Ed.), *El futuro del cálculo infinitesimal*. Grupo Editorial Iberoamérica, México, pp.155-181, 2000.
- [7] M. Moreno. El papel de la didáctica en la enseñanza del cálculo: Evolución, estado actual y retos futuros. *IX Simposio de la Sociedad Española de Investigación en Educación Matemática (SEIEM)*, Universidad de Córdoba, España, pp.81-96, 2005.
- [8] C. Kamii. La autonomía como finalidad de la educación. Implicaciones de la teoría de Piaget. Chicago: Universidad de Illinois, 1984.
- [9] J. Torre Puente. *Una triple alianza para un aprendizaje universitario de calidad*. Madrid: Universidad Pontificia de Comillas, 2007.
- [10] G. Feldman. *Psicología*. México: McGraw-Hill, 1996.
- [11] L. Insuasty. *Aprendizaje autónomo*: Bogotá: Cafam, 1997.
- [12] M. Crispín and otros trece autores. *Aprendizaje autónomo. Orientaciones para la docencia*. México: Universidad Iberoamericana, 2011.
- [13] H. Aebli, *Aprendizaje autónomo*. Madrid, Narcea S.A, 1984.
- [14] H. Aebli, *Factores de la enseñanza que favorecen el aprendizaje autónomo*. Madrid: Narcea S. A, 1988.
- [15] M. Elías. and otros ocho autores. *Promotion social and emotional learning*. Virginia: Alexandria, 1997.
- [16] A. Ruiz. *Enfoques y métodos de la educación matemática*. Costa Rica: Universidad de Costa Rica, 1998.
- [17] J. Piaget. *La formación del símbolo en el niño*. Madrid: Fontanella, 1961.
- [18] L. Santos. ¿Qué significa el aprender matemáticas? Una experiencia con alumnos de cálculo. *Educación Matemática*, vol. 7, no 1, pp.45-53, 1995.
- [19] A. Aliseda, A. *Heurística, hipótesis y demostraciones en matemáticas*. Ámsterdam: Instituto de

- Investigaciones Filosóficas Universidad de Ámsterdam, 1998.
- [20] A. Aliseda, A. *Seeking Explanations: Abduction on logic, philosophy of science and artificial intelligence*. Amsterdam: Instituto de Investigaciones Filosóficas Universidad de Ámsterdam, 1977.
- [21] A. Sierpiska. Humanities students and epistemological obstacles related to limits. *Educational Studies in Mathematics*, vol. 18, no. 4, pp.371-387, 1985.
- [22] G. Polya. *Cómo resolver problemas*. México: Editorial Trillas, 1998.
- [23] A. Engler and A. Camacho. Una mirada a investigaciones sobre la derivada desde la perspectiva del pensamiento y lenguaje variacional. *Premisa*, vol. 14, no. 54, pp.18-36, 2012.
- [24] C. Moreno and P. Ríos. Concepciones en la enseñanza del cálculo. *Sapiens*, vol. 7, no. 2, pp.25-39, 2006.
- [25] C. Azcárate, C and M. Camacho. Sobre la investigación en didáctica del análisis matemático. *Boletín de la Asociación Matemática Venezolana*. Vol. 10, no. 2, pp.135-149, 2003.
- [26] E. Catsigeras. (2004). *Microexperiencia de enseñanza en Cálculo*. Publicado en las [Actas del II Congreso de Enseñanza, ponencia 1-033]. Montevideo: CD- UEFI, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República. Recuperado de [http://math-preprints.wikispaces.com/file/view/congreso2004\\_ponencia.pdf](http://math-preprints.wikispaces.com/file/view/congreso2004_ponencia.pdf)
- [27] C. Dolores, El desarrollo del pensamiento variacional con estudiantes universitarios. En Beitía, G. (Ed.), *Acta Latinoamericana de Matemática Educativa* 14, 345-353. México: Grupo Editorial Iberoamérica, 2001.
- [28] O. Carabús. *Ingenierías Didácticas. La comprensión en la conceptualización del Cálculo*. Catamarca, Editorial Científica Universitaria, 2007.
- [29] A. Vargas, M. Torres and N. Quintero. La derivada a la Caratheodory, una nueva concepción en la enseñanza del cálculo. 10º Encuentro Colombiano de Matemática Educativa, Pasto, 2009.
- [30] C. Fraile. El estudio y trabajo autónomo del estudiante. En De Miguel, M (Ed.), *Métodos y modalidades de enseñanza centradas en el desarrollo de competencias*. Madrid: Alianza Universidad, pp.191-223, 2006.
- [31] H. Viale. Menos es más. Cómo Propiciar el aprendizaje autónomo mediante una clase integral en el marco del Modelo Pedagógico UPC. *Revista Digital de Investigación en Docencia Universitaria*, vol. 3, no. 1, pp.1-15, 2007.





<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

# RESULTADOS DEL MODELAMIENTO MATEMÁTICO COMO HERRAMIENTA DE ARTICULACIÓN DE LA MATEMÁTICA UNIVERSITARIA EN LOS ESTUDIANTES DE PRE CÁLCULO

*Results of mathematical modeling as a joint tool of university mathematics in pre-calculus students*

JUAN GUILLERMO NÚÑEZ OSUNA<sup>1</sup> LUIS ALFONSO SÁNCHEZ BERNAL<sup>2</sup>

*Recibido:29 de mayo de 2017. Aceptado:04 de junio de 2017*

*DOI:<http://dx.doi.org/10.21017/rimci.2017.v4.n8.a29>*

## RESUMEN

En la investigación se indaga el rendimiento de los estudiantes del curso de pre cálculo a partir del cual se diseña una estrategia apoyada en tres componentes: la educación matemática, el pensamiento variacional y la teoría tricerebral desde los cuales se propone fortalecer y consolidar el concepto de función para el desarrollo adecuado de los cursos de cálculo diferencial e integral entre otros. Para ello, el objetivo general desarrolla una estrategia didáctica centrada en el modelamiento matemático haciendo un proceso más contextual y metacognitivo donde se mejora el actuar en sociedad. La metodología empleada dentro de este proceso es mixta, dado que, gracias a ello se aplica un instrumento para recoger una información sobre la noción que tiene los estudiantes de función, se revisan las notas de los estudiantes, talleres y pruebas con los cuales se diseña la propuesta pedagógica. Como conclusión se encontró un notable manejo y dominio en la comprensión integral del concepto de función desde el punto de vista lógico, operativo y sensitivo, la incorporación de las matemáticas mucho más contextual y finalmente un proceso meta cognitivo mejor en el actuar dentro del campo de las matemáticas en general.

**Palabras clave:** modelamiento matemático, función, educación matemática, competencias matemáticas y cerebro tríadico.

## ABSTRACT

This research delves deeper about the performance of students of the pre-calculus course, from which some strategies came up. The designed strategies were based on three elements: mathematics education, variational thinking and tricerebral theory. Its purpose is to strengthen and consolidate the concept of function to accomplish the suitable development of differential and integral calculus courses, among others. The general objective carries out a didactic strategy focused on the mathematical modeling, making a more contextual and metacognitive process to change student's minds and make them conscious about the importance and implications of math in people daily life in society. The methodology used in this process is mixed, that is because this allows to apply an instrument to collect information about the notion that the students have about function, as well as review the students notes, workshops and tests which contributed to the pedagogical proposal design. In conclusion we find a remarkable management and mastery in the integral comprehension of the concept of function from the logical, operational and sensitive point of view, the incorporation of the mathematics much more contextual and finally a better cognitive meta process in the acting within the field of the Mathematics in general.

**Keywords:** Mathematical modeling, function, mathematical education, mathematical competences and triad brain

<sup>1</sup> Licenciado en matemáticas y física Universidad de los Llanos, Especialista en docencia universitaria Universidad Cooperativa de Colombia, Magister en educación Universidad Cooperativa de Colombia, Docente de ciencias Básicas Corporación Unificada Nacional de Educación Superior CUN y docente de especializaciones en la Universidad Nacional Abierta y A Distancia UNAD. Correo electrónico: [juannuosuna@gmail.com](mailto:juannuosuna@gmail.com)

<sup>2</sup> Licenciado en matemáticas Universidad Pedagógica Nacional, especialista en docencia universitaria Universidad Cooperativa de Colombia y magister en educación Universidad Cooperativa de Colombia, docente de ciencias básicas Universidad Jorge Tadeo Lozano. Correo electrónico: [alfsanchez21@hotmail.com](mailto:alfsanchez21@hotmail.com)

## I. INTRODUCCIÓN

EN LOS diferentes niveles de escolaridad la comprensión del concepto de función es limitada y sesgada [1], por tal razón se encuentran grandes dificultades en los cursos posteriores de pre cálculo y cálculo desde esta situación se hace necesario apoyarse en el modelamiento matemático como herramienta potente para el estudio de situaciones cotidianas, el estudio completo de distintos fenómenos del campo de conocimiento, así como el estudio del entorno para plantear y estudiar situaciones de una o varias variables y la comprensión de temáticas posteriores [2][3]. Seguidamente Spivak reconoce que este es “El concepto más importante de todas las matemáticas es dudarlo, el de función; en casi todas las ramas de la matemática moderna, la investigación se centra en el estudio de funciones” [4]. De otra parte, es de vital importancia de que desde el rol de docente se transformen las prácticas y clases rutinarias desde los cuales se potencia el cerebro izquierdo (conocimiento) incluyendo el cerebro derecho y el central porque de esta forma podemos generar un concepto realmente integral de función dada su importancia.

## II. OBJETIVO

Implementar y evaluar una estrategia didáctica centrada en el modelamiento matemático para el afianzamiento del concepto de función en los estudiantes de pre cálculo.

## III. MÉTODO

El proceso se desarrolló durante dos años en una población de 10 mujeres y 8 hombres en un grupo de pensamiento matemático (Pre Cálculo) de la Universidad Jorge Tadeo Lozano desde un enfoque de la investigación es cuantitativo para el cual se establecen las siguientes, una fase conceptual (formulación de objetivos y elaboración del diagnóstico), fase analítica (donde se establece el nivel de competencias de los estudiantes), una fase de diseño (manipulación de variables considerado como presencia-ausencia del grupo control y el grupo no control) y una fase de discriminación (se pone de manifiesto la intervención mediante actividades diversas que facilitan la argumentación y consolidación de nuestra pro-

puesta entre ellas aplicaciones y usos específicos del concepto de función [5][6].

## IV. RESULTADOS

Es de notar que una intención de la enseñanza de la matemática es que los estudiantes incorporen los conocimientos adquiridos durante su vida escolar a su vida diaria, sin embargo, pocos lo hacen, pues es difícil para ellos desarrollar la capacidad para relacionar los aprendizajes en matemática con las situaciones cotidianas. Es allí donde el modelamiento matemático se convierte en herramienta facilitadora de los procesos de enseñanza-aprendizaje y articulando la reflexión el actuar en sociedad para generar la meta cognición [7]. Con base en los resultados obtenidos, se construye una propuesta acorde con el siguiente esquema del proceso de modelación [8], el cual se ajusta a lo expuesto en el marco teórico, los resultados encontrados en la investigación y los objetivos propuestos, el cual servirá para implementar una propuesta de actividades basadas en la modelación que apoyen la enseñanza del concepto de función [9]. Ver figura 1.

En este esquema se identifican dos espacios, bien diferenciados, el mundo real y el mundo matemático, pero conectados a través de tres fases, en cada una de ellas se establecen las competencias necesarias para resolver un problema, de igual forma, cada una de estas se encuadra con cada uno de los tres cerebros. Las fases son:

**Situación problema**, allí se pretende lograr la interpretación y comprensión del problema que se da en un contexto real. (**Cerebro lógico**) y **el modelo matemático** [10], en esta etapa se logra trasladar al mundo matemático por medio de fórmulas, ecuaciones y cualquier otro objeto matemático la representación de la situación. También se efectúan los cálculos y operaciones necesarias para encontrar un resultado matemático (**Cerebro operativo**) y como posible solución, después de hacer operaciones y cálculos en el mundo matemático, se transfiere la respuesta que se obtuvo, es decir volver al mundo real y tomar alguna decisión con respecto a la solución encontrada, se proponen alternativas de solución. (**Cerebro creativo**) y finalmente el proceso inte-

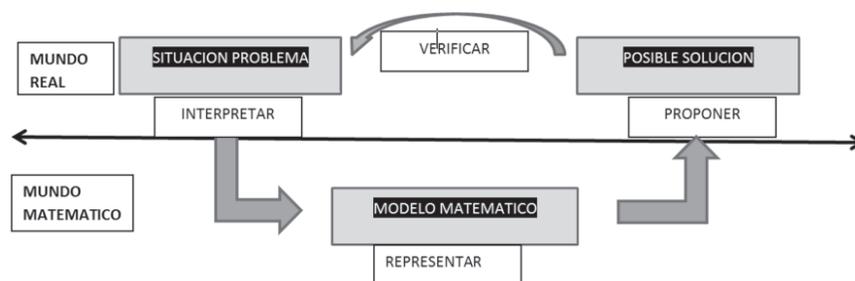


Fig. 1. Esquema de modelación de la propuesta. Fuente: los autores.

gral se valora desde tipos de inteligencia, el desarrollo de las habilidades mentales, inteligencia emocional y la habilidad.

### A. Objetivo general de la propuesta

Proponer una estrategia didáctica que se apoya en las categorías del marco teórico para una transformación en las prácticas pedagógicas en la enseñanza de las matemáticas con relación al concepto de función.

### B. Metas por objetivos (Tabla I)

## V. EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA

La prueba que se propone como examen final y evaluación de la propuesta se aplica a todos los estudiantes de pensamiento matemático de la universidad Jorge Tadeo Lozano, conformada por diez preguntas; cinco de selección múltiple y cinco abiertas, con las cuales se quiere medir el conocimiento y las habilidades que tienen los estudiantes con respecto a las generalidades del concepto de función, con una duración de 120 minutos, los resultados obtenidos se muestran a continuación de forma cuantitativa y cualitativa. (Ver figura 2, tabla II)

Tabla I. Metas por objetivos.

Objetivo	Meta
Diseñar una estrategia didáctica apoyada en la modelación matemática	Diseñar sesiones de clase utilizando una secuencia didáctica y elaborar actividades que permitan afianzar el concepto de función en los estudiantes
Implementar una estrategia didáctica apoyada en la modelación matemática	Utilizar las sesiones de clase de manera eficiente para poder abordar los temas indicados
Evaluar, mediante un grupo control, la estrategia didáctica apoyada en la modelación	Llevar a cabo un seguimiento estricto de la implementación y evaluar de forma apropiada la propuesta.

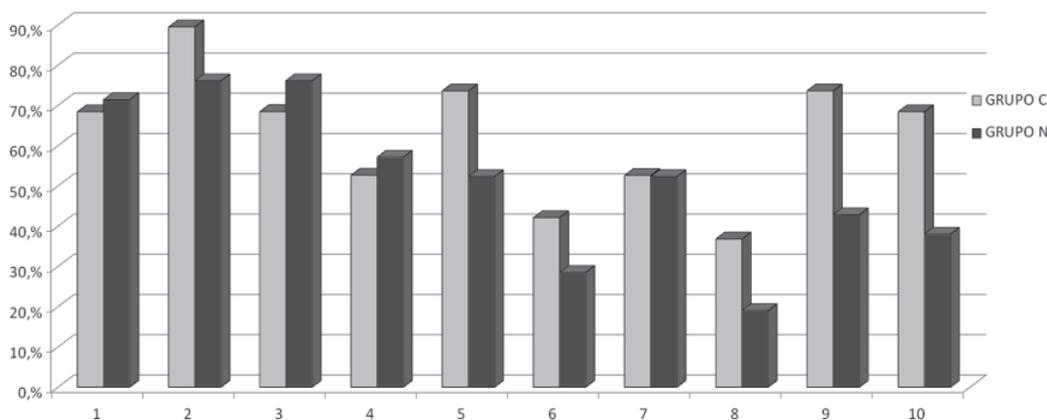


Fig. 2. Resultados de evaluación de propuesta. Fuente: los autores

Tabla II. Resultados cualitativos de la evaluación.

Preg.	Esperado	Encontrado
1	Dados dos puntos, el estudiante encuentra la expresión algebraica de una función lineal. También debe encontrar los interceptos con los ejes y calcular algunos valores funcionales.	En esta pregunta vemos como la mayoría de estudiantes encuentran adecuadamente la expresión algebraica de la función; sin embargo, se encuentra que algunos estudiantes presentan confusión para hallar los cortes con los ejes y buscar algunos valores funcionales.
2	A través de la descripción verbal de ciertas transformaciones aplicadas a la gráfica de una función, los estudiantes encuentran la expresión algebraica de dicha función.	Esta pregunta tuvo el mayor porcentaje de acierto, dentro de las respuestas equivocadas encontramos como los estudiantes confunden las transformaciones que hacen desplazarse a la gráfica a la derecha o la izquierda y la compresión o alargamiento vertical.
3	Dadas dos funciones expresadas en su forma algebraica, los estudiantes encuentran el resultado de efectuar varias operaciones entre ellas.	En esta pregunta vemos como los estudiantes reconocen las operaciones entre funciones, la dificultad se presenta cuando los estudiantes deben encontrar un valor funcional después de efectuar una operación entre dos funciones.
4	A partir de la expresión algebraica; los estudiantes reconocen varios aspectos de la función (dominio, rango, valores funcionales, interceptos, solución de ecuación $f(x)=c$ , intervalos de monotonía)	En esta pregunta vemos como los estudiantes reconocen algunas generalidades de la función a partir de la expresión algebraica, dentro de las respuestas equivocadas encontramos que hay dificultad para encontrar los cortes con los ejes.
5	A partir de la gráfica; los estudiantes reconocen varios aspectos de la función (dominio, rango, valores funcionales, interceptos, solución de ecuación $f(x)=c$ , intervalos de monotonía)	En esta pregunta vemos como los estudiantes reconocen algunas generalidades de la función a partir de la gráfica, dentro de las respuestas no acertadas la que más se repitió fue el rango de la función.
6	Los estudiantes pueden resolver un problema de aplicación de función cuadrática que requiere construir el modelo. Deben entender el problema, seleccionar estrategias de solución y evaluar lo razonable de la respuesta.	Vemos como muchos estudiantes utilizan las tres fases de la modelación, la dificultad en la mayoría de ellos se presenta cuando deben seleccionar el objeto matemático con el cual deben abordar y dar solución al problema.
7	Dadas dos funciones, presentadas de forma gráfica o algebraica, los estudiantes encuentran grafica o algebraicamente el resultado de efectuar algunas operaciones entre ellas.	Los estudiantes encuentran el resultado de la operación entre dos funciones cuando estas se dan de forma algebraica, pero cuando estas se presentan de forma gráfica es muy difícil para ellos entregar el resultado de la operación en forma gráfica.
8	Los estudiantes pueden resolver un problema de aplicación de función lineal que requiere construir el modelo. Deben entender el problema, seleccionar estrategias de solución y evaluar lo razonable de la respuesta.	Vemos como muchos estudiantes utilizan las tres fases de la modelación, la dificultad en la mayoría de ellos se presenta cuando deben seleccionar el objeto matemático con el cual deben abordar y dar solución al problema.
9	A partir de una función básica, los estudiantes pueden construir la gráfica de una función más compleja y describir las transformaciones realizadas para encontrarla.	La mayoría de los estudiantes reconoce las transformaciones necesarias para obtener la gráfica de una función compleja, se presenta dificultad para graficar la función cuando hay una compresión o alargamiento vertical.
10	Teniendo la expresión algebraica de una función, los estudiantes encuentran la gráfica de esta función, dominio, rango y algunos valores funcionales.	La mayoría de estudiantes son capaces de establecer la relación entre la representación algebraica y gráfica de la función, se presenta dificultad cuando tiene que graficar una función que presenta una restricción en su dominio.

## VI. LA DISCUSIÓN

Para el análisis de resultados se estableció la relación entre los tres cerebros, las competencias que se abordan en matemáticas [11][12] y las dificultades que presentan los estudiantes en el estudio de las matemáticas, de la siguiente manera (ver tabla III).

Cuando los estudiantes deben resolver un problema requieren del conocimiento de fórmulas, definiciones y algoritmos, por lo general estos procedimientos se han trabajado y memorizado en la clase, sin embargo, no se dedica mucho tiempo para reflexionar sobre las implicaciones de sus respuestas. En términos de competencias se podría decir que desarrollan más las competencias que con anterioridad se han relacionado con el cerebro lógico y el operativo, dejando rezagado a las correspondientes con el cerebro creativo.

Resulta ser un aprendizaje más integral dado que considera actividades específicas para cada uno de los cerebros como constructor de conocimiento desde el tricerebral y el modelamiento matemático. Es una manera de planificar y gestionar contenidos teóricos mediante actividades apoyadas en la teoría tricerebral y el modelamiento matemático.

Se encontró una marcada tendencia en los estudiantes a tratar resolver problemas usando solo algoritmos, ante esto, se deben abandonar las prácticas rutinarias y convencionales para dar paso a la inclusión de la modelación, la visualización y diferentes formas de representación en la enseñanza del concepto de función. No es solamente “entrenar” a los jóvenes para utilizar la matemática en determinadas situaciones hipotéticas expuestas por el profesor, con patrones definidos y estudiados

con anterioridad, para que puedan utilizar herramientas o algoritmos que se han establecido como apropiados, es decir, volverlos hábiles calculistas, la finalidad es darles la oportunidad para que puedan razonar críticamente, poder predecir y elegir de manera razonable lo mejor para el beneficio colectivo ante situaciones reales en tiempo real, enfrentándose así a innumerables variables.

La propuesta considera componentes tales como las necesidades, fortalezas y debilidades de los estudiantes con base en las cuales se diseña una estrategia desde la que potencian los tres cerebros con referencia al concepto de función, cuyo propósito principal se centra en la estimulación del razonamiento integrando ideas y conceptos en coherencia con lo lógico, lo práctico y lo creativo garantizando un aprendizaje integral dentro del campo del pensamiento matemático [13].

Aplicación práctica de los resultados desde la propuesta y desarrollo desarrolla una enseñanza acorde con las necesidades, fortalezas y debilidades de los estudiantes donde se potencian los tres cerebros el izquierdo (lógico), central (operativo) y derecho (creativo). Es así desde ella se mejora notablemente el aprendizaje integral del concepto de función desde los componentes lógico, operativo y creativa del mismo en nuestro grupo control, adicionalmente encontramos la incorporación de las matemáticas a situaciones cotidianas.

Es de notar que una intención de la enseñanza de la matemática es que los estudiantes incorporen los conocimientos adquiridos durante su vida escolar a su vida diaria, sin embargo, pocos lo hacen, pues es difícil para ellos desarrollar la capacidad para relacionar los aprendizajes en matemática con las situaciones cotidianas. Es allí donde el modelamiento matemático se convierte

Tabla III. Triangulación de la información.

	Cerebro lógico	Cerebro operativo	Cerebro creativo
Competencias	Organización e Interpretación	Formulación, representación y ejecución	Argumentación y proposición
Dificultades	Interpretación del lenguaje algebraico y relación entre tipos de variables	El manejo de las representaciones (tabular, gráfico y algebraico) de la función y sus operaciones.	Validar, justificar y plantear alternativas de solución.

en herramienta facilitadora de los procesos de enseñanza-aprendizaje y articulando la reflexión el actuar en sociedad para generar la meta cognición.

## REFERENCIAS

- [1] J. López, "Dificultades conceptuales y procedimientos asociados al concepto de función", Universidad Autónoma de Yucatán. Facultad de educación. 2007.
- [2] J. Stewart, "Calculo de una variable. Conceptos y contextos". Cengage Learning. 2010.
- [3] C. Vasco, "El pensamiento variacional y la modelación". Universidad del Valle. Universidad de Manizales. 2010.
- [4] M. Spivak, "Calculus". Tomo 1. Barcelona: Reverté. 1975.
- [5] J. Núñez y A. Sánchez, "Propuesta para la enseñanza aprendizaje del concepto de función en estudiantes de pensamiento matemático de la Universidad Jorge Tadeo Lozano". Tesis de grado de Maestro en educación. Universidad Cooperativa de Colombia. 2016.
- [6] J. Núñez y A. Sánchez, "Modelamiento matemático como herramienta matemática de articulación de la matemática universitaria en estudiantes de pre cálculo". Revista Ingeniería, matemáticas y ciencias de la información. Volumen 3. Número 5. Enero a junio; páginas 37 a 50. DOI <http://dx.doi.org/10.21017/rimci.2016.v3.n5.a4>. 2016.
- [7] A. Martínez, "Propuesta didáctica para lograr al aprendizaje significativo del concepto de función mediante la modelación y simulación". 2011.
- [8] U. Cárcamo, "Modelo dinámico del aprendizaje de la matemática aplicada: una propuesta". Revista Universidad EAFIT, [S.l.], v. 33, n. 106, p. 75-95, jul. 2012. ISSN 0120-341X. 2016.
- [9] C. Velandia, "Metodología Interdisciplinaria". Centrada en Equipos de Aprendizaje. Medellín: Teoría del color. 2006.
- [10] F. Cordero y T. Suarez, "Modelación-graficación una categoría para la matemática escolar". Resultados de un estudio socio epistemológico. Revista de investigación en matemática. Recuperado en:<http://www.clame.org.mx/relime/201018d.pdf>. 2010.
- [11] Ministerio de Educación Nacional. Estándares Básicos De Competencias en lenguaje, en matemáticas, ciencias sociales, CVN. P.46-82. 2006
- [12] ICFES. Lineamientos generales para la presentación del examen de Estado Saber 11°. 2015.
- [13] M. Díaz, Memorias VIII. Encuentro Nacional de Educación Matemática y Estadística. Pensamiento Visual y Pensamiento variacional. 2009.



<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

# RESOLUCIÓN TRIGONOMÉTRICA DE LA ECUACIÓN DE SEGUNDO GRADO

## *Solving a trigonometric equation using the quadratic formula*

CARLOS M. MATA RODRÍGUEZ<sup>1</sup>

*Recibido:30 de mayo de 2017. Aceptado:07 de junio de 2017*

*DOI:<http://dx.doi.org/10.21017/rimci.2017.v4.n8.a30>*

### RESUMEN

En el desarrollo histórico de las Matemáticas, existen determinados temas (especialmente relacionados con el arte del cálculo), que en un período de tiempo relativamente largo son ampliamente usados y después debido al desarrollo tecnológico desaparece su importancia. La solución trigonométrica de la ecuación de segundo grado, es uno de ellos, y constituye el tema del presente trabajo.

**Palabras clave:** ecuación cuadrática, trigonometría.

### ABSTRACT

There are certain topics, in the historical development of Mathematics (especially, related to the art of calculation) that, in a relatively long period of time have been widely used, and later, due to the technological development, their importance faded. The trigonometrical solution for the equation of second grade is one of them, and it is the topic of the present work.

**Keywords:** quadratic equations, trigonometric.

## I. INTRODUCCIÓN

SE DENOMINA ecuación una igualdad entre dos expresiones matemáticas que solo se verifican para ciertos valores de la variable; estos valores se denominan raíces de la ecuación. Resolver una ecuación es encontrar los valores de estas raíces. Si las expresiones son algebraicas, se dice que la ecuación es algebraica y si una de ellas al menos es trascendentes se dice que es trascendente [1] [2].

La solución algebraica de una ecuación no puede ser obtenida más allá de las de cuarto grado, *resueltas algebraicamente las ecuaciones de los cuatro primeros grados por medio de radicales desde el siglo XVI parecía natural intentar la solución análoga para las ecuaciones de grados superiores; pero todas las tentativas de numerosos matemáticos, especialmente de José Luís Lagrange (1736-1813), fracasaron. Este constante fracaso hizo sospechar la imposibilidad del problema persegui-*

*do, llegando Paolo Ruffini (1765-1822) a demostrarlo en 1798; y más tarde -1824- dio Niels Henrik Abel (1802-1829) independientemente otra demostración de esta imposibilidad [2] esto quiere decir que no existen reglas, como la conocida ecuación de segundo grado, que brinden los valores de las incógnitas en función de los coeficientes, de un modo general.*

Y es precisamente sobre la solución de la ecuación de segundo grado el fundamento de este trabajo.

Como se conoce, la forma canónica de la ecuación de segundo grado es  $ax^2 + bx + c = 0$  siendo los coeficientes  $a$ ,  $b$  y  $c$  constantes.

Puesto que en la ecuación de segundo grado  $ax^2 + bx + c = 0$  siempre se supone que  $a$  es distinto de cero, se puede dividir la ecuación por el referido coeficiente y toma la forma:

<sup>1</sup> Profesor Licenciado en Matemáticas. Consultor para la Formación de Personal en Informática. Miembro de la ANIR (Asociación Nacional de Inventores y Racionalizadores). Actualmente Departamento de Matemáticas, Universidad de Ciego de Ávila. Cuba. Correo electrónico:camaro@unica.cu

$$x^2 + (b/a)x + (c/a) = 0$$

A partir de la expresión anterior se llega mediante transformaciones algébricas a la clásica forma general:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Que admite siempre dos raíces:  $x_1, x_2$

## II. DESARROLLO

Hay temas en la historia de las Matemáticas, que son ampliamente utilizados en un largo período de tiempo y posteriormente caen en desuso, como lo es, el uso de los logaritmos, en el pasado para realizar cálculos complejos mediante el uso de las tablas, desde su invención por John Neper, (1550-1617) [2] hasta las primeras décadas del siglo XX, fueron una herramienta fundamental de los calculistas; como es sabido el empleo de los modernos medios de computo, relegó a los logaritmos a cuestiones eminentemente teóricas o analíticas.

La solución trigonométrica de la ecuación cuadrática, corrió igual suerte, pues fue utilizada especialmente cuando sus coeficientes en determinados problemas de trigonometría esférica y astronomía, estaban representados por números decimales de varias cifras o sus correspondientes logaritmos, siendo de este modo muy práctica la resolución por medio de tablas trigonométricas [3] [4] [5] [6].

Este método, aparece por primera vez en la obra del astrónomo Antonio Cagnoli (1743-1816) "*Trigonometría plana esférica*", Paris, 1786 pero hay que destacar que fue de bastante utilidad hasta principios del siglo XX [7].

El objetivo del siguiente trabajo es mostrar el fundamento analítico y práctico para el cálculo de las raíces de una ecuación de segundo grado utilizando procedimientos trigonométricos en la ecuación  $ax^2 + bx + c = 0$ .

Vamos a considerar dos casos fundamentales, siendo  $a = 1$  [1] [2].

### A. Primero: $c < 0$ ;

Las dos raíces son reales de signos contrarios.

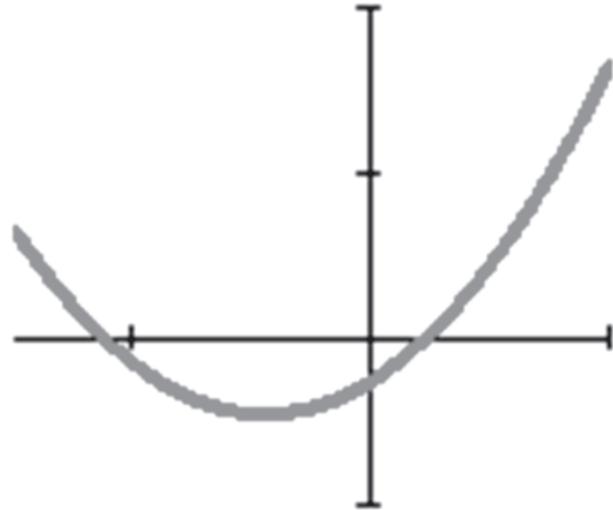


Fig. 1.

Comencemos definiendo la siguiente igualdad:

$$\operatorname{tg}^2 \alpha = -4 \frac{c}{b^2} \quad (1)$$

Tenemos

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4c}}{2}$$

$$x = \frac{-b}{2} \pm \frac{\sqrt{b^2 - 4c}}{2}$$

$$x = \frac{-b}{2} \pm \frac{\sqrt{\frac{1}{b^2} \cdot (b^2 - 4c) \cdot b^2}}{2}$$

$$x = \frac{-b}{2} \pm \frac{b \cdot \sqrt{\left(1 - 4 \frac{c}{b^2}\right)}}{2}$$

$$x = \frac{-b}{2} \left( 1 \mp \sqrt{1 - \frac{4c}{b^2}} \right) \quad (2)$$

Aplicando identidades y utilizando la ecuación (1),

$$\operatorname{tg}^2 \alpha = \sec^2 \alpha - 1$$

$$x = \frac{-b}{2} \left( 1 \mp \sqrt{\sec^2 \alpha} \right)$$

$$x = \frac{-b}{2} \left( 1 \mp \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \alpha}} \right)$$

$$x = \frac{-b}{2} \left( 1 \mp \frac{1}{\cos(\alpha)} \right)$$

Con todo lo anterior, obtenemos,

$$\begin{aligned} x_1 &= \frac{-b}{2} \left( 1 - \frac{1}{\cos(\alpha)} \right) \\ x_2 &= \frac{-b}{2} \cdot \left( 1 + \frac{1}{\cos(\alpha)} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

Aplicando nuevamente identidades llegamos a las fórmulas prácticas.

$$\begin{aligned} x_1 &= \sqrt{-c} \cdot \tan \left( \frac{\alpha}{2} \right) \\ x_2 &= -\sqrt{-c} \cdot \cot \left( \frac{\alpha}{2} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

### Ejemplo No. 1

Sea la ecuación.

$$8.363x^2 + 0.594x - 2.167 = 0$$

**Solución.**

Dividiendo por 8.363

$$x^2 + 0.071x - 0.259 = 0$$

$$b = 0.071, c = -0.259$$

Sustituyendo en (1)

$$\operatorname{tg}(\alpha) = 14.336$$

$$\alpha = \operatorname{Arctg}(14.336)$$

$$\alpha \approx 86^\circ$$

Sustituyendo en (3) - (4)

$$X_1 = 0.47$$

$$X_2 = -0.54$$

### B. Segundo: $c > 0$

Las dos raíces reales son positivas o negativas.

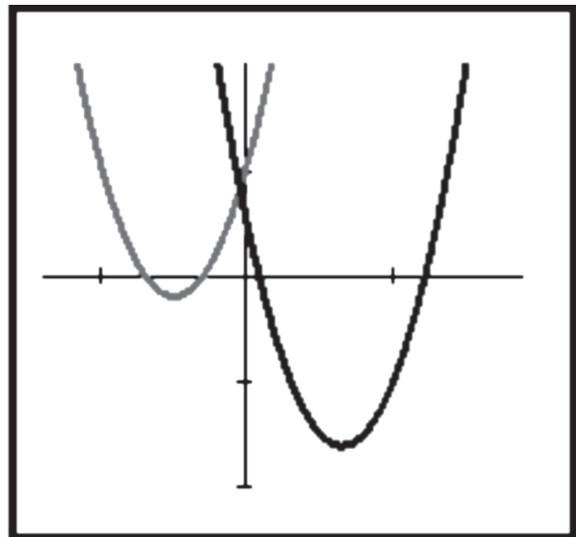


Fig. 2.

Partiendo de la igualdad:

$$\sin^2 \alpha = 4 \frac{c}{b^2} \quad (5)$$

Y utilizando la identidad

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$$

En (2) obtenemos

$$\begin{aligned} x_1 &= \frac{-b}{2} (1 - \cos(\alpha)) \\ x_2 &= \frac{-b}{2} (1 + \cos(\alpha)) \end{aligned} \quad (6)$$

Aplicando identidades

$$\begin{aligned} x_1 &= -\sqrt{c} \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \\ x_2 &= -\sqrt{c} \cdot \cot\left(\frac{\alpha}{2}\right) \end{aligned} \quad (7)$$

Nota: En el caso tratado ( $c > 0$ ) se ha supuesto  $b > 0$ , si fuese  $b < 0$ , basta cambiar el signo de las raíces.

Ejemplo No. 2

$$x^2 + 3.45x + 2.16 = 0$$

$$b = 3.45, c = 2.16$$

( $b > 0$ , reales negativas)

$$\alpha = \text{ArcSen}\left(\frac{2 \cdot \sqrt{2.16}}{3.45}\right)$$

$$\alpha = 58.43^\circ$$

$$x_1 = 0.8218$$

$$x_2 = 2.6280$$

### III. PROGRAMACIÓN EN MATHCAD

Como complemento a todo lo anterior se presenta un programa diseñado en Mathcad para la obtención de las raíces de la ecuación de segundo grado en forma trigonométrica.

Para la corrida del programa solo es necesario definir en **ESG** (nombre del programa) los coeficientes  $a$ ,  $b$  y  $c$ .

Aquí se consideran las soluciones reales, no incluyendo las imaginarias.

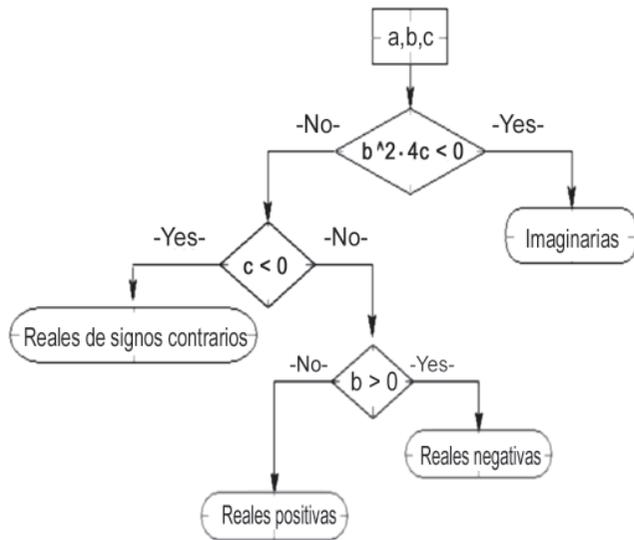
```

ESG(A1, B1, C1) :=
return "No es cuadrática" if A1 = 0
return "b = 0" if B1 = 0
return "c = 0" if C1 = 0
A ← A1
B ← B1
C ← C1

return "Imaginarias" if B2 - 4 C < 0
s1,1 ← "Angulo γ ="
s2,1 ← "x1 ="
s3,1 ← "x2 ="
s4,1 ← "a"
s5,1 ← "b"
s6,1 ← "c"
if C < 0
| α ← 2·√-C / B
| β ← atan(α)
| γ ← |β · 180 / π|
| x1 ← √-C tan(γ/2 · deg)
| x2 ← -(√-C cot(γ/2 · deg))
if C > 0
| α ← 2·√C / B
| β ← asin(α)
| γ ← |β · 180 / π|
if B > 0
| x1 ← -√C tan(γ/2 · deg)
| x2 ← -(√C cot(γ/2 · deg))
if B < 0
| x1 ← √C tan(γ/2 · deg)
| x2 ← √C cot(γ/2 · deg)
s1,2 ← floor(γ)
s2,2 ← x1
s3,2 ← x2
s4,2 ← A1
s5,2 ← B1
s6,2 ← C1
s

```

C. Diagrama de flujo sintetizado



Considerando las ecuaciones seleccionadas como ejemplo, el programa muestra los siguientes resultados.

Ejemplo No. 1

$$ESG(1, 3.45, 2.16) = \begin{pmatrix} \text{"Angulo } \alpha = & 58 \\ \text{"x1="} & -0.82188 \\ \text{"x2="} & -2.62812 \\ \text{"a"} & 1 \\ \text{"b"} & 3.45 \\ \text{"c"} & 2.16 \end{pmatrix} ESG(8.363,$$

Ejemplo No. 2

Como comprobación utilizando el comando **RESOLVER** de Mathcad, verificamos que:

$$8.363 x^2 + 0.594 x - 2.167 \text{ resolver} \rightarrow \begin{pmatrix} -0.545 \\ 0.4747 \end{pmatrix}$$

$$x^2 + 3.45 x + 2.16 \text{ resolver} \rightarrow \begin{pmatrix} -2.628 \\ -0.8218 \end{pmatrix}$$

IV. CONCLUSIÓN

La solución trigonométrica de la ecuación de segundo grado, fue en su momento una alternativa para el cálculo de las raíces de las ecuaciones cuadráticas, los modernos medios de computo, han relegado este tema, así como otros a cuestiones netamente históricas pero no por ello deja de ser interesante su conocimiento pues constituye parte del patrimonio de la historia de las Matemáticas.

El tema tratado presenta muy escasa bibliografía, pues cuando aparece solo son brevísimas menciones sin mayores detalles.

En algunos textos de Algebra del siglo XIX y principios del XX se muestran solo determinados artículos asociados a la Teoría de las Ecuaciones.

El procedimiento trigonométrico también se extiende a determinados tipos de ecuaciones de tercer y cuarto grado, como se muestra en el artículo *Application of trigonometry to the Theory of Equations*.

REFERENCIAS

- [1] H. S. Hall and S. R. Knigth, *Algebra for Collages and Schools*, New York, The Macmillan Company, 1941.
- [2] H. S. Hall and S. R. Knigth, *Álgebra Superior*, México. UTHEA, 1948.
- [3] M. Chollet, *Tablas de logaritmos*, Paris, Garnier y Hermanos, 1902.
- [4] H. S. Hall and S. R. Knigth, *Elementary Trigonometry*, London, The Macmillan Company, Fourth Edition, 1905.
- [5] G. Hessenberg, *Trigonometría Plana y Esférica*, Editorial Labor, Barcelona, 1925.
- [6] J. Rey, *Elementos de Análisis Algebraico*, Madrid, Talleres Lusy, 1939.
- [7] J. E. Hofmann, *Historia de la matemática: desde el comienzo hasta la revolución francesa*, Editorial Limusa, 2002.





<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

# TECNOLOGÍA 5G

## 5G Technology

NÉSTOR JARAMILLO\*, ALEXANDER OCHOA,  
WILLIAM PÁEZ\* Y ALEXANDER PEÑA\*

*Recibido:1 de junio de 2017. Aceptado:20 de junio de 2017*

*DOI:<http://dx.doi.org/10.21017/rimci.2017.v4.n8.a31>*

### RESUMEN

Este documento contiene información sobre la próxima generación de tecnología de telecomunicaciones móviles que se espera que se implemente en el año 2020, más allá de las mejoras en velocidad, se espera que la tecnología 5G desplegará un «Ecosistema» del internet masivo que puede satisfacer con mayor fuerza las necesidades de las comunicaciones. El presente artículo describe los conceptos fundamentales, muestra cómo evoluciona la arquitectura 3GPP LTE y describe algunos beneficios de esta tecnología.

**Palabras clave:** onda milimétrica, internet de las cosas, comunicaciones móviles, seguridad, MIMO.

### ABSTRACT

This document contains information on the next generation of mobile telecommunications technology that can be put into operation in 2020, beyond improvements in speed, 5G technology will deploy an «Ecosystem» of the massive Internet that can satisfy with greater force the needs of communications. This article describes the fundamental concepts, shows how the 3GPP LTE architecture evolves and describes some benefits of this technology.

**Keywords:** Millimeter wave, internet of things, mobile communications, security, MIMO.

## I. DESARROLLO

### A. Antenas MIMO

Tomando en cuenta que uno de los objetivos de la tecnología 5G para comunicaciones móviles, aparte del notable incremento en la velocidad de conexión y transmisión de datos a través del servicio, es la optimización del espectro electromagnético, se convierte en casi fundamental, el uso de antenas MIMO (Multiple Input - Multiple Output) ya que estas permiten a los dispositivos trabajar en múltiples frecuencias de forma simultánea para múltiples entradas y múltiples salidas que permiten optimizar la comunicación y las velocidades de transmisión y recepción de información [1].

### B. Radio Cognitiva

Se trata de una tecnología de comunicaciones inalámbricas, actualmente en proceso de investigación y que procura, como objetivo general principal,

proporcionar cierto grado de inteligencia artificial a los dispositivos de telecomunicaciones de manera que estén en la capacidad de escanear el espectro completo y realizar algunas tareas que van desde la identificación de las secciones de espectro libre y la asignación de tráfico a dichos espacios del espectro para garantizar no solo que la comunicación sea de alta velocidad, sino además que permita la interconexión de muchos más dispositivos [2][3].

### C. Administración avanzada de interferencia

Esta es la interferencia co-canal que se presenta en la tecnología actualmente en servicio (LTE) [4] y con base en estas limitaciones se proponen soluciones para la futura implementación del 5G, algunas de las soluciones son:

#### 1) Receptor avanzado y programa conjunto

Se pretende que tanto desde la transmisión como desde el dispositivo final se implementen

\* Los autores se encuentran en proceso de titulación como ingenieros electrónicos de la Universidad ECCI, Escuela Colombiana de Carreras Industriales en Bogotá, Colombia. Correos electrónicos: paisanes@gmail.com, tom.jerry.7@hotmail.es

técnicas para reducir la afectación de las interferencias [5].

## 2) Interferencias co-canal

Son las interferencias causadas por un canal contiguo, en este caso, la interferencia que causa una BS sobre un equipo en el área de otra BS [5].

## 3) Receptor avanzado

Es el receptor que es capaz de decodificar tanto la información deseada como la interferencia para así poder retirar la interferencia [5].

### D. Internet Móvil personal y más allá

Se exponen tres requisitos fundamentales que debe tener la tecnología 5G, la primera la capacidad de ampliar la red con el fin de tener la capacidad de albergar el creciente número de dispositivos que acceden a la red con el fin del intercambiar información, haciendo especial hincapié en las comunicaciones M2M (machine to machine), dado el crecimiento casi exponencial de los diferentes dispositivos portátiles, sensores y actuadores que se dispone en la actualidad; en segunda medida argumenta que la nueva tecnología debe ser capaz de contextualizar la información al usuario, es decir los usuarios no deben acceder a la red para alcanzar la información de internet, sino que el internet vendrá a ellos, y por último se debe tener una red lo suficientemente rápida para garantizar períodos de latencia muy bajos, con el fin de garantizar la posibilidad del internet táctil en un futuro próximo [6].

### E. Formación de Haz de onda milimétrica para habilitación de tecnología para comunicaciones celulares 5G

La explosión de tráfico cada vez mayor en las comunicaciones móviles ha generado recientemente un aumento de espectro subutilizado en las bandas de frecuencia de onda milimétrica como una solución potencialmente viable para más capacidad en comparación con redes celulares 4G actuales. Las bandas de mmWave fueron descartadas para uso celular principalmente debido a las preocupaciones con respecto al corto alcance y problemas de cobertura fuera de la línea de visión [7].

La mejora que proporcionaría en comparación con la tecnología actual LTE, es ofrecer mayores velocidades de datos a los usuarios finales mejorando eficiencia espectral, desplegando más estaciones base, y agregando más espectros [5].

### F. Densificación

La densificación de las redes inalámbricas como un reto acorto plazo, dentro del cual deben converger aspectos tan importantes como el hecho de un cambio total de infraestructura y la evolución de los actuales dispositivo de recepción. Lo anterior solo puede ser posible si hay una re-organización de las redes y un manejo más eficaz de las interferencias entre celdas, todo esto soportado por una densificación de Backhaul y receptores capaces de realizar procesos de cancelación de interferencia [8].

Backhaul: red de retorno; es la porción de red dentro una estación base que se encuentra entre el núcleo (Core) y las subredes presentes [9].

### G. Tecnologías Cloud para acceso a redes de radio flexibles 5G

La gran diferencia de 5G, con respecto a 4G, dejando claro que esta nueva red móvil avanzará aún más al incorporar a sus servicios móviles nuevos y más complejos dispositivos operados por humanos y también dispositivos que se comunicarán con otros dispositivos estos totalmente automatizados (máquina a máquina, M2M) [6]. Dejándonos claro la gran importancia de la nube y el papel esencial que cumple, integrándolo a objetos de uso cotidiano, como automóviles, electrodomésticos, textiles y aplicaciones críticas para la salud.

El artículo nos cuenta como la tecnología de la nube ha recibido una atención cada vez mayor para el avance de red móvil 5G, dejando claro los conceptos de RANaas y RAP.

### H. Proyecto METIS

El proyecto METIS se encarga de contemplar la metodología, requerimientos y escenarios para la estandarización futura de la tecnología 5G, su metodología se basa en un enfoque ascendente en donde los nuevos conceptos de radio se desarrollan

y optimizan para soportar las necesidades futuras, y en un enfoque descendente en donde se evalúan los servicios y aplicaciones para validar los requisitos que 5G debe cumplir.

Principalmente se contempla en el Proyecto METIS, la densidad de volumen de tráfico, rendimiento experimentado por parte del usuario final, latencia, confiabilidad, disponibilidad y rentabilidad. Los escenarios contemplados son sorprendentemente rápidos, servicio a gran multitud de dispositivos, seguido de la mejor experiencia, conexiones en tiempo real y con ello, el internet de las cosas [6].

#### *I. El papel de las células pequeñas, multipunto coordinado y Masivo MIMO en 5G*

Debido al alto crecimiento de nuevas aplicaciones y el aumento de usuarios, la exigencia de una mejor tecnología cada vez es mayor, por lo cual 5G tendrá que brindar un servicio con mejoras en latencia y altas velocidades en transferencia de datos [6], lo cual se quiere lograr mediante las técnicas avanzadas MIMO masivo para una mayor eficiencia espectral, una combinación inteligente de células pequeñas, transmisión conjunta coordinada multipunto (JT CoMP).

#### *J. Conexión Dispositivo a dispositivo*

La comunicación entre dispositivos o D2D, propone una conexión directa entre dispositivos cercanos de manera que se libera el uso de las estaciones bases de forma considerable, sobre todo en escenarios de abundante concurrencia de usuarios, de esta manera, los dispositivos finales, estarían en la capacidad de conectarse sin la intervención o el control de la estación base, e incluso funcionar como un nodo de distribución de servicio al que se conectan varios dispositivos finales cercanos que estén fuera de la cobertura de la estación base o con la intención de liberar la misma. En este tipo de implementación se generan los retos de garantizar la seguridad de la comunicación entre dispositivos remotos; si para completar dicha comunicación debe pasar por los dispositivos de otros dispositivos de usuario y otro reto termina siendo, como controlar la cantidad y calidad de usuario conectados, así como la restitución por la disposición de recursos como procesamiento del dispositivo o el consumo ener-

gético elevado por la utilización del mismo como prestador de servicio [6].

#### *K. Aplicaciones de Cancelación de auto interferencia en 5G*

La cancelación de auto interferencia simplificará la administración del espectro, habilitará una comunicación full dúplex, lo que permitirá que una radio pueda transmitir y recibir datos en una misma frecuencia y al mismo tiempo, duplicando la eficiencia espectral. La cancelación de auto interferencia ayudará a la evolución de la tecnología 5G hacia redes más densas y que puedan utilizarse en un sistema de comunicación inalámbrico con mayor capacidad de enlace y virtualización del espectro.

#### *L. Forma de onda asíncrona no ortogonal para futuras aplicaciones*

La idea de la introducción de forma de onda no ortogonal asíncrona fue originada básicamente en universidades alemanas, esta idea busca cambiar el sincronismo y la ortogonalidad de las ondas basadas en la tecnología 4G LTE-A por medio de una estructura de cuadros unificada, tomando una forma de onda multicarrier con funcionalidad de filtrado, generando así una interfaz de área más eficiente y escalable en aplicaciones de IoT, conectividad inalámbrica Gigabit e internet táctil.

#### *M. Tecnologías disruptivas para 5G*

Las 5 tecnologías que implementaría en 5G serían un punto de inflexión para la arquitectura y modelado de los dispositivos que hay actualmente, estas tecnologías son: arquitectura centrada en el dispositivo, MIMO masivo, onda milimétrica, dispositivos inteligentes y soporte de comunicación máquina a máquina, con dichas innovaciones el cambio del modelo trabajado hasta el día de hoy tendrá que pasar a uno nuevo; cambiando totalmente los paradigmas de una red celular [6][7]. Uno de los aspectos fundamentales enfocados en 5G serían el de arquitectura enfocada en los dispositivos, con lo cual las redes buscarían generar un conjunto de subredes aumentando su cobertura y maximizando su velocidad de conexión entre dispositivos y entre celdas de conexión.

## II. CONCLUSIONES

Se identificó la necesidad de un receptor más avanzado el cual no sea pasivo ante la interferencia, en cambio, sea resistente a las interferencias y sea posible aprovechar mejor el ancho de banda. Se evidenciaron algunas de las falencias las cuales están volviendo obsoleto al 4G y abren paso a la nueva tecnología.

Una latencia de ida y vuelta de 1 ms puede potencialmente mover el mundo al disfrutar de la conexión inalámbrica de hoy; los sistemas de comunicación en el nuevo mundo de los sistemas de control inalámbrico: el Internet táctil cambiaría dramáticamente nuestra vida, impactando en todos los aspectos de las áreas de aplicación tales como: salud, seguridad, tráfico, educación, deportes, juegos y energía.

Al ser una estructura no ortogonal, la red 5G propone un mayor ancho de banda, mas espaciamiento y velocidad, generando menos tiempos de respuesta, alrededor de 1 ms en la interconexión de las BS, en el momento que se abandona el sincronismo y la ortogonalidad en conjunto, se abandona la interferencia y los impedimentos de una estructura de transmisión adecuada junto con su respectiva técnica, las formas de onda y su enfoque aplicado a las técnicas UFMC, FBMC Y GFDM. (Que de por si presentan bastantes ventajas disruptivas sobre la técnica OFDM) se presentan y ponen como ejemplos escenarios aplicados a la diferenciabilidad del servicio del espectro, agilidad de la transmisión en tiempo real, generando mejoras sobre la transmisión ortogonal OFDM convencional.

La cancelación de auto interferencia virtualiza el uso del espectro al actuar como un filtro por software lo que permite agregar un conjunto de canales aleatorios espaciales es blando lo que permite tener un ancho de banda más grande.

La combinación de JT CoMP con MIMO masiva es beneficiosa porque más antenas hacen que el enlace sea más robusto, la interferencia puede ser ms localizada y la sobrecarga de la red de retorno puede reducirse, usando sofisticados esquemas de selección de clústeres y usuarios, la eficiencia espectral está limitada solo por la interferencia fuera del clúster.

El proyecto METIS busca integrar nuevos conceptos de radio como lo son MIMO masivo, redes ultra densas, redes en movimiento, comunicación directa de dispositivo a dispositivo, comunicación ultra confiable, comunicación de máquina masiva y otros, y la explotación de nuevas bandas de espectro las cuales van a permitir el soporte del aumento en datos móviles mientras se amplía el rango de dominios de aplicaciones que las aplicaciones podrían soportar después del 2020.

La evolución de las redes inalámbricas a infraestructura capaz de soportar comunicaciones de 5G es posible si se realizan avances en aspectos como reutilización del espectro, crecimiento y fortalecimiento de redes backhaul, desarrollo de dispositivos que soporten comunicaciones D2D (Device to Device) capaces de realizar procesos de cancelación de interferencia. Igualmente, dispositivos que puedan operar en bandas milimétricas logrando intercambio de información a mayores frecuencias con menores tiempos de latencia y mayor fiabilidad en el intercambio.

El ancho de banda es el más efectivo y método directo para proporcionar lo previsto demanda de datos para servicios celulares 5G esperando estar disponible comercialmente en 2020 y más allá.

Con la cancelación de auto interferencia se simplificará la administración del espectro, permitiendo un dúplex completo en banda duplicando la eficiencia espectral, lo que permitirá a las futuras redes 5G aprovechar el espectro fragmentado.

## REFERENCIAS

- [1] IPV6go. Tutorial LTE. *Multiple Input Multiple Output*. Disponible en: <http://www.ipv6go.net/lte/mimo.php>. 2014.
- [2] B. Wang, and K. J. R. Liu, *Advances in Cognitive Radio Networks: A Survey*. IEEE J. Sel. Topics Signal Process., 5(1), 5 – 22, 2011.
- [3] K. C. Chen and R. Prasad, *Cognitive Radio Networks*. Edition ed. Chippenham: John Wiley & Sons Ltd., ISBN 978-0-470-69689-7. 2009.
- [4] M. Gorricho and J. L. Gorricho, *Comunicaciones móviles*. Barcelona: Edicions UPC. 2002.
- [5] S. Sesia, I. Toufil and M. Baker, *LTE-the UMTS Long Term Evolution: From theory to Practice*. Chichester: Wiley. 2011.

- [6] IEEE COMMUNICATIONS MAGAZINE. 5G Wireless Communication Wireless Networks and Traffic Uncertainty: Vol. 52, No.2. 2014.
- [7] IMDEA Networks Institute, *Banda ancha móvil ultrarrápida 5G gracias a la tecnología de banda de ondas milimétricas*. NETCOM research group. Universidad Carlos III de Madrid. Departamento de Ingeniería Telemática. 2017.
- [8] Anixter - CommScope, *Construyendo una red convergente: conexión inalámbrica y cableada*. 2016.
- [9] K. R. Chowdhury and I. F. Akyildiz, *Cognitive Wireless Mesh Networks with Dynamic Spectrum Access*. IEEE J. Sel. Areas Commun., 26(1), 168181. 2008.





<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

# LA PRODUCCIÓN MAS LIMPIA COMO ESTRATEGIA AMBIENTAL EN EL MARCO DEL DESARROLLO SOSTENIBLE

*The cleanest production as an environmental strategy  
in the framework of sustainable development*

HENRY FAJARDO FONSECA<sup>1</sup>

*Recibido:29 de mayo de 2017. Aceptado:04 de junio de 2017*

*DOI:<http://dx.doi.org/10.21017/rimci.2017.v4.n8.a32>*

## RESUMEN

En la actualidad, el tema de contaminación ambiental ha dado un giro importante desde finales de la década de los ochenta, debido a las políticas introducidas acerca del control de la contaminación ambiental que afecta no solamente a las personas, sino a las industrias y al mundo entero. De ahí, que han surgido preguntas como ¿qué se puede hacer con los procesos productivos que generan residuos? ó también ¿qué se hará con los residuos? es precisamente aquí donde surge la Producción más Limpia como la práctica que toda organización debe llevar a cabo en sus procesos industriales para minimizar los efectos de contaminación de sus propios residuos y producir productos respetuosos con el medio ambiente, implementando mejores prácticas en cada uno de los ciclos de vida de los mismos.

Este documento, pretende mostrar una de varias posibilidades que tienen las empresas manufactureras de prevenir la contaminación desde su origen.

**Palabras clave:** producción más limpia, desarrollo sostenible, residuos industriales, mejora continua, procesos productivos, medio ambiente.

## ABSTRACT

Currently, the issue of environmental pollution has taken an important turn since the late eighties, due to the policies introduced on the control of environmental pollution that affects not only people, but industries and the world whole. Hence, questions have arisen as to what can be done with productive processes that generate waste? Or what will be done with waste? It is precisely here where the Cleanest Production arises as the practice that every organization must carry out in its industrial processes to minimize the effects of contamination of its own waste and produce products that respect the environment, implementing best practices in each of the Life cycles of the same. This document aims to show one of several possibilities that manufacturing companies have to prevent pollution from its origin.

**Keywords:** cleaner production, sustainable development, industrial waste, continuous improvement, productive processes, environment.

## I. INTRODUCCIÓN

SE DEFINE producción más limpia, como la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva e integrada, en los procesos productivos, los productos y los servicios, para reducir los riesgos relevantes a los humanos y al medio ambiente.

En el caso de los procesos productivos se orienta hacia la conservación de materias primas y ener-

gía, la eliminación de materias primas tóxicas, y la reducción de la cantidad y toxicidad de todas las emisiones contaminantes y los desechos. En el caso de los productos se orienta hacia la reducción de los impactos negativos que acompañan el ciclo de vida del producto, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final. En los servicios se orienta hacia la incorporación de la dimensión ambiental, tanto en el diseño como en la prestación de los mismos [1].

<sup>1</sup> Ingeniero Industrial. Especialista en Ingeniería de la Calidad y el Comportamiento. Candidato a Magister en Planeación Socioeconómica en la Universidad Santo Tomás. Líder del Grupo de Investigación OCA de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Corporación Universitaria Republicana. Catedrático en la Universidad Militar Nueva Granada en la Facultad de Administración de la Seguridad y salud Ocupacional.

Más que un concepto y una estrategia innovadora, lo que pretende la P + L, es buscar los mejores caminos para reducir y disminuir las emisiones de desechos tóxicos y basuras, ya que aunque las empresas utilicen mejores tecnologías en sus procesos productivos para aumentar su productividad, no deben olvidar el impacto que generan en el ambiente. Es decir, La Producción Más Limpia, no es únicamente una iniciativa para la gestión ambiental, sino que es un conjunto de programas y estrategias para que las empresas modifiquen sus procesos productivos y no afecten la salud y la seguridad humana, pero que finalmente también sea beneficioso para la organización en términos económicos [2].

El interés que suscita la Producción Más Limpia tanto a productores como al sector gubernamental, es el hecho de que existe una relación de no solamente proteger el medio ambiente por medio de los Acuerdos Ambientales Multilaterales (AAMs), sino de desarrollar e implementar estrategias para los temas económicos que beneficiarán a dichas empresas tanto a nivel nacional como internacional.

Es de ésta perspectiva, que la P + L busca el mejoramiento continuo de los procesos industriales, pero también obedece a un proceso gerencial integral, el cual quiere implementar en cada una de las fases del ciclo de vida de sus productos.

Por otro lado, el mundo se ha dado cuenta que es necesario desarrollar estrategias que provean a los países para mitigar el impacto ambiental de las industrias y de la sociedad en general.

Esto se demuestra con la aparición del desarrollo sostenible y los objetivos del mismo, que se pretenden alcanzar para el año 2030. Esto será una responsabilidad de todos y para todos, que redundará en una mejor calidad de vida para los habitantes del mundo.

## II. GENERALIDADES

Desde todos los puntos de vista, es sabido que la contaminación ambiental crea problemas en todas esferas de la sociedad, hecho que ha propiciado en los últimos años la aparición de dos conceptos asociados: el de “tecnologías limpias”,

que se enfoca en la reducción de contaminantes e involucra procesos energéticos eficientes y el de producción más limpia (P + L) cuyo término es utilizado para prevenir la contaminación, buscando beneficios económicos a través del mejoramiento de la productividad y competitividad de las empresas pertenecientes al sector manufacturero, especialmente.

Las alternativas de producción más limpia se encuentran enfocadas a la mejora de procesos y productos con el fin de evitar problemas ambientales antes de que ocurran; dichas alternativas abarcan el tema de la contaminación generada en las actividades de industriales de manera preventiva, concentrando la atención en los procesos productivos, productos, eficiencia y uso de materias primas e insumos, para identificar mejoras orientadas a conseguir niveles de eficiencia que permitan reducir o eliminar los residuos, descargas atmosféricas, antes que estos se generen en esas empresas de producción; todo esto crea, sistemas eficientes y seguros de segregación, recolección, transporte, almacenamiento y gestión, que contribuya con el desarrollo pleno de los objetivos estratégicos establecidos en la organización.

Partiendo de las necesidades del sector industrial que se esté hablando, se debe establecer aquellas medidas para la obtención de materias primas, rendimientos ambientales y productivos, que se hace necesario para garantizar por medio de la formulación e implementación de planes ambientales la participación, iniciativa y compromiso de los actores involucrados dentro de la cadena de producción en las diferentes industrias por medio del desarrollo de actividades como las que siguen:

- 1) Mejora en los procedimientos de operación.
- 2) Capacitación de los trabajadores.
- 3) Mejorar calidad en compra de materias primas.
- 4) Evaluación, implementación y mantenimiento de técnicas para minimizar emisiones atmosféricas y residuos.
- 5) Identificación de fuentes principales de residuos y emisiones atmosféricas.

- 6) Localización de procesos con alta generación de productos fuera de especificación.
- 7) Localización de procesos con alta generación de residuos y emisiones.
- 8) Mejorar sistemas de aislamiento de ruido en áreas necesarias.
- 9) Implementar sistemas eficientes de prevención y control de emisiones atmosféricas.

Unido a ello, requerimos entender también lo que se asocia a la P+L, y es el desarrollo sostenible y el impacto que ello tendrá en las industrias y en la sociedad.

### III. DESARROLLO SOSTENIBLE

#### A. El origen del concepto de Sostenibilidad y de desarrollo sostenible.

Según Bermejo Gómez de Segura, la primera vez que el concepto de sostenibilidad es ampliamente aceptado (al menos formalmente) en la sociedad moderna es por medio del concepto de desarrollo sostenible del Informe Brundtland [3]. El concepto de desarrollo se empezó a utilizar en el siglo XVIII en biología, para indicar la evolución de los individuos jóvenes hacia la fase adulta.

Después, se ha aplicado en múltiples campos y a partir de la segunda guerra mundial fue adoptado por la economía para indicar el modelo de crecimiento económico de los países industrializados que, además, para algunos integra la idea de justicia social. Así que se define como países desarrollados los más industrializados y los países más o menos pobres como "países en vías de desarrollo".

Sin embargo, el origen del concepto de DESARROLLO SOSTENIBLE se remonta a mediados de los años sesenta, conforme a lo que expresa Giuseppantonio De Vincentiis [4]. Estos fueron los años en que las diferentes colonias europeas en Asia y, especialmente, en África recuperaron su independencia y, con ello, la soberanía completa - por lo menos, desde el punto de vista formal - sobre sus recursos naturales.

Entre estos estaban, por supuesto, las reservas de caza mayor establecidos en el curso de las décadas por los gobiernos coloniales como fuente de ingresos de la explotación de los derechos de caza para el turismo internacional de alto nivel.

Este hecho, unido a la necesidad de los nuevos gobiernos nacionales, de asegurar una valiosa fuente de ingresos de divisas, llevó a la formación del concepto de desarrollo sostenible, entendido como la única forma de poner en marcha un desarrollo económico en las zonas rurales de África y Asia.

La necesidad era encontrar una base cultural y conceptual que incluya el regreso a las grandes tradiciones del África rural y también la explotación, con nuevas políticas de conservación que se estaban introduciendo en los países occidentales.

Una actitud de Europa, -en particular- y de América del Norte, que ciertamente, no era caracterizada por un exceso de generosidad y comprensión respecto a las poblaciones africanas: por el contrario, seguía imponiendo, con métodos pacíficos y no violentos, el modelo colonial.

El término "desarrollo sostenible" hace su primera aparición en un documento oficial en el texto de acuerdo firmado por treinta y tres países africanos en 1969, bajo los auspicios de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. Aunque fue esta la primera forma de aplicación concreta de este concepto, su historia se remonta muchos años antes. Desde la última década del siglo XIX se encuentran huellas en los debates y discusiones entre Thomas Malthus - defensor de la "teoría apocalíptica" sobre el futuro de la especie humana - y Marie Jean Antoine Condorcet, quien teorizó, al contrario, una época caracterizada por seres humanos capaces de garantizar a las generaciones futuras felicidad y no solo la mera existencia.

Entre los precursores de un desarrollo económico y social compatible con el medio ambiente hay que contar un filósofo natural y escritor italiano, Alfredo Oriani, sostuvo durante los años treinta, del fascismo y el comunismo de la misma manera, pero completamente olvidado por la historia, la filosofía y la literatura italiana de la posguerra. Sin embargo, Oriani, en su libro "La rivolta ideale" de 1908, esbozó la base de los principios

de igualdad y solidaridad entre las generaciones que son la base del desarrollo sostenible:

“Se dice que el amor es el patrón de generación y la pareja debe desaparecer en los padres, sacrificando la devoción por sus hijos; Se debe decir que todo lo que hace que nuestro espíritu es un legado de la historia para las generaciones futuras, por lo que nuestro interés en la actualidad sólo un eco del pasado, que se convertirá una vez más la voz en el futuro”

En el mismo año 1969, América dio vida a la Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental), cuyas directrices han, desde el principio, influido de manera fundamental todos los desarrollos de las teorías y prácticas de las políticas ambientales en todo el mundo. En la ley que constituyó la NEPA, (el National Environmental Policy Act de 1969), el desarrollo sostenible se define como un: “desarrollo económico que pueda llevar beneficios para las generaciones actuales y futuras sin dañar a los recursos o los organismos biológicos en el planeta”.

Estos dos aspectos fundamentales han caracterizado el llamado “Informe Brundtland” conocido también como “Our Common Future”), el informe elaborado por la Comisión de Naciones Unidas encabezada por Gro Brundtland, publicado en 1987 después de varios años de estudios, debates y reuniones. Aunque no pueda reclamar el derecho de primogenitura, el Informe Brundtland de 1987 sin duda ha tenido el mérito de traer a primer plano y con fuerza a la opinión pública en todo el mundo problemas de desarrollo económico e industrial.

En la definición, que se encuentra en este informe, en realidad no se habla del concepto de medio ambiente como tal, sino se refiere al bienestar, y por lo tanto a la calidad del medio ambiente, destacando así el principio ético principal entendido como responsabilidad por parte las generaciones de hoy hacia las generaciones futuras, y evidenciando los dos aspectos de la sostenibilidad ambiental: el mantenimiento de los recursos y el equilibrio ambiental de nuestro planeta.

En el mismo documento hizo hincapié en la protección de las necesidades de todos los individuos, con el fin de legitimidad universal para aspirar a mejores condiciones de vida, así como subrayar la

necesidad y la importancia de una mayor participación de los ciudadanos, para implementar un proceso, de hecho aumenta las posibilidades democráticas en el ámbito internacional.

El desarrollo sostenible requiere satisfacer las necesidades básicas de todos y extender a todos la oportunidad de poner en práctica sus aspiraciones a una vida mejor. La satisfacción de las necesidades esenciales requiere no sólo una nueva era de crecimiento económico para las naciones que la mayoría de los habitantes son pobres, sino también la garantía de que los pobres tengan una participación justa de los recursos necesarios para sostener este crecimiento. La equidad debería ser apoyada tanto por los sistemas políticos que garanticen la participación efectiva de los ciudadanos en la toma de decisiones, tanto por una mayor democracia en las decisiones internacionales.

### **B. Concepto desarrollo sostenible**

Se define «el desarrollo sostenible como la satisfacción de «las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades». (Informe titulado «Nuestro futuro común» de 1987, Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo), el desarrollo sostenible ha emergido como el principio rector para el desarrollo mundial a largo plazo. Consta de tres pilares, el desarrollo sostenible trata de lograr, de manera equilibrada, el desarrollo económico, el desarrollo social y la protección del medio ambiente.

## **IV. OBJETIVOS DEL DESARROLLO SOSTENIBLE**

### **A. Antecedentes de los objetivos del desarrollo sostenible**

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) se gestaron en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible, celebrada en Río de Janeiro en 2012. El propósito era crear un conjunto de objetivos mundiales relacionados con los desafíos ambientales, políticos y económicos con que se enfrenta nuestro mundo [5].

Los ODS sustituyen a los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), con los que se empen-

dió en 2000 una iniciativa mundial para abordar la indignidad de la pobreza. Los ODM eran objetivos medibles acordados universalmente para hacer frente a la pobreza extrema y el hambre, prevenir las enfermedades mortales y ampliar la enseñanza primaria a todos los niños, entre otras prioridades del desarrollo.

Durante 15 años los ODM impulsaron el progreso en varias esferas importantes: reducir la pobreza económica, suministrar acceso al agua y el saneamiento tan necesarios, disminuir la mortalidad infantil y mejorar de manera importante la salud materna. También iniciaron un movimiento mundial destinado a la educación primaria universal, inspirando a los países a invertir en sus generaciones futuras. Los ODM lograron enormes avances en la lucha contra el VIH/SIDA y otras enfermedades tratables, como la malaria y la tuberculosis.

Los ODS constituyen un compromiso audaz para finalizar lo que se ha iniciado y abordar los problemas más urgentes a los que hoy se enfrenta el mundo. Los 17 Objetivos para el 2030 están interrelacionados, lo que significa que el éxito de uno afecta el de otros. Responder a la amenaza del cambio climático repercute en la forma en que gestionamos nuestros frágiles recursos naturales.

Los ODS coincidieron con otro acuerdo histórico celebrado en 2015, el Acuerdo de París aproba-

do en la Conferencia sobre el Cambio Climático (COP21). Junto con el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres, firmado en el Japón en marzo de 2015, estos acuerdos proveen un conjunto de normas comunes y metas viables para reducir las emisiones de carbono, gestionar los riesgos del cambio climático y los desastres naturales, y reconstruir después de una crisis.

Los ODS son especiales por cuanto abarcan las cuestiones que nos afectan a todos. Reafirman el compromiso internacional de poner fin a la pobreza de forma permanente en todas partes. Son ambiciosos, pues su meta es que nadie quede atrás. Lo que es más importante, nos invitan a todos a crear un planeta más sostenible, seguro y próspero para la humanidad.

En la Fig. 1, se puede observar los nuevos Objetivos de desarrollo Sostenible para cumplir para el 2030.

Para dar claridad en relación de la Producción Más Limpia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible para ser cumplidos para el 2030, se tienen los siguientes:

### Objetivo 6. Agua Limpia y Saneamiento

Objetivo: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.



Fig.1. Objetivos de Desarrollo Sostenible [ODS] [5]

- Mejorar la calidad del agua mediante la reducción de la contaminación, la eliminación del vertimiento y la reducción al mínimo de la descarga de materiales y productos químicos peligrosos, la reducción a la mitad del porcentaje de aguas residuales sin tratar y un aumento sustancial del reciclado y la reutilización en condiciones de seguridad a nivel mundial.
- Poner en práctica la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza, según proceda.
- Proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos.
- Ampliar la cooperación internacional y el apoyo prestado a los países en desarrollo para la creación de capacidad en actividades y programas relativos al agua y el saneamiento, incluidos el acopio y almacenamiento de agua, la desalinización, el aprovechamiento eficiente de los recursos hídricos, el tratamiento de aguas residuales y las tecnologías de reciclaje y reutilización.

### **Objetivo 7. Energía Asequible y No Contaminante**

Objetivo: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos.

- Garantizar el acceso universal a servicios de energía asequibles, confiables y modernos.
- Aumentar sustancialmente el porcentaje de la energía renovable en el conjunto de fuentes de energía.
- Duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética.
- Aumentar la cooperación internacional a fin de facilitar el acceso a la investigación y las tecnologías energéticas no contaminantes, incluidas las fuentes de energía renovables, la eficiencia energética y las tecnologías avanzadas y menos contaminantes de combustibles fósiles, y promover la inversión

en infraestructuras energéticas y tecnologías de energía no contaminante.

- Ampliar la infraestructura y mejorar la tecnología para prestar servicios de energía modernos y sostenibles para todos en los países en desarrollo, en particular los países menos adelantados, los pequeños Estados insulares en desarrollo y los países en desarrollo sin litoral, en consonancia con sus respectivos programas de apoyo.

### **Objetivo 9. Industria, Innovación e Infraestructura.**

Objetivo: Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación.

- Desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad, incluidas infraestructuras regionales y transfronterizas, para apoyar el desarrollo económico y el bienestar humano, con especial hincapié en el acceso equitativo y asequible para todos.
- Promover una industrialización inclusiva y sostenible y, a más tardar en 2030, aumentar de manera significativa la contribución de la industria al empleo y al producto interno bruto, de acuerdo con las circunstancias nacionales, y duplicar esa contribución en los países menos adelantados.
- Aumentar el acceso de las pequeñas empresas industriales y otras empresas, en particular en los países en desarrollo, a los servicios financieros, incluido el acceso a créditos asequibles, y su integración en las cadenas de valor y los mercados.
- Mejorar la infraestructura y reajustar las industrias para que sean sostenibles, usando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales, y logrando que todos los países adopten medidas de acuerdo con sus capacidades respectivas.
- Aumentar la investigación científica y mejorar la capacidad tecnológica de los sectores

industriales de todos los países, en particular los países en desarrollo, entre otras cosas fomentando la innovación y aumentando sustancialmente el número de personas que trabajan en el campo de la investigación y el desarrollo por cada millón de personas.

- Apoyar el desarrollo de tecnologías nacionales, la investigación y la innovación en los países en desarrollo, en particular garantizando un entorno normativo propicio a la diversificación industrial y la adición de valor a los productos básicos, entre otras cosas.

### Objetivo 11. Ciudades y Comunidades Sostenibles

Objetivo: Conseguir que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles

- Asegurar el acceso de todas las personas a viviendas y servicios básicos adecuados, seguros y asequibles y mejorar los barrios marginales.
- Reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo.
- Proporcionar acceso universal a zonas verdes y espacios públicos seguros, inclusivos y accesibles, en particular para las mujeres y los niños, las personas de edad y las personas con discapacidad.
- Apoyar los vínculos económicos, sociales y ambientales positivos entre las zonas urbanas, periurbanas y rurales mediante el fortalecimiento de la planificación del desarrollo nacional y regional.
- Para 2020, aumentar sustancialmente el número de ciudades y asentamientos humanos que adoptan y ponen en marcha políticas y planes integrados para promover la inclusión, el uso eficiente de los recursos, la mitigación del cambio climático y la adaptación a él y la resiliencia ante los desastres, y desarrollar y poner en práctica, en

consonancia con el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030, la gestión integral de los riesgos de desastre a todos los niveles.

- Proporcionar apoyo a los países menos adelantados, incluso mediante la asistencia financiera y técnica, para que puedan construir edificios sostenibles y resilientes utilizando materiales locales.

### Objetivo 12. Producción y Consumo Responsables

Objetivo: Garantizar modalidades de consumo y protección sostenibles

- Aplicar el Marco Decenal de Programas sobre Modalidades de Consumo y Producción Sostenibles, con la participación de todos los países y bajo el liderazgo de los países desarrollados, teniendo en cuenta el grado de desarrollo y las capacidades de los países en desarrollo.
- Lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales.
- Reducir a la mitad el desperdicio mundial de alimentos per cápita en la venta al por menor y a nivel de los consumidores y reducir las pérdidas de alimentos en las cadenas de producción y distribución, incluidas las pérdidas posteriores a las cosechas.
- Para 2020, lograr la gestión ecológicamente racional de los productos químicos y de todos los desechos a lo largo de su ciclo de vida, de conformidad con los marcos internacionales convenidos, y reducir de manera significativa su liberación a la atmósfera, el agua y el suelo a fin de reducir al mínimo sus efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente.
- Disminuir de manera sustancial la generación de desechos mediante políticas de prevención, reducción, reciclaje y reutilización
- Alentar a las empresas, en especial las grandes empresas y las empresas transnacionales, a que adopten prácticas sostenibles

- e incorporen información sobre la sostenibilidad en su ciclo de presentación de informes.
- Promover prácticas de contratación pública que sean sostenibles, de conformidad con las políticas y prioridades nacionales.
  - Velar por que las personas de todo el mundo tengan información y conocimientos pertinentes para el desarrollo sostenible y los estilos de vida en armonía con la naturaleza.
  - Apoyar a los países en desarrollo en el fortalecimiento de su capacidad científica y tecnológica a fin de avanzar hacia modalidades de consumo y producción más sostenibles.
  - Elaborar y aplicar instrumentos que permitan seguir de cerca los efectos en el desarrollo sostenible con miras a lograr un turismo sostenible que cree puestos de trabajo y promueva la cultura y los productos locales.
  - Racionalizar los subsidios ineficientes a los combustibles fósiles que alientan el consumo antieconómico mediante la eliminación de las distorsiones del mercado, de acuerdo con las circunstancias nacionales, incluso mediante la reestructuración de los sistemas tributarios y la eliminación gradual de los subsidios perjudiciales, cuando existan, para que se ponga de manifiesto su impacto ambiental, teniendo plenamente en cuenta las necesidades y condiciones particulares de los países en desarrollo y reduciendo al mínimo los posibles efectos adversos en su desarrollo, de manera que se proteja a los pobres y las comunidades afectadas.
- Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales.
  - Mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional en relación con la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana.
  - Poner en práctica el compromiso contraído por los países desarrollados que son parte en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático con el objetivo de movilizar conjuntamente 100.000 millones de dólares anuales para el año 2020, procedentes de todas las fuentes, a fin de atender a las necesidades de los países en desarrollo, en el contexto de una labor significativa de mitigación y de una aplicación transparente, y poner en pleno funcionamiento el Fondo Verde para el Clima capitalizándolo lo antes posible.
  - Promover mecanismos para aumentar la capacidad de planificación y gestión eficaz en relación con el cambio climático en los países menos adelantados y los pequeños Estados insulares en desarrollo, centrándose en particular en las mujeres, los jóvenes y las comunidades locales y marginadas.

## V. PRODUCCIÓN MAS LIMPIA

### A. Antecedentes de la P + L

Al final de los años ´80 y principios de los ´90, las agencias ambientales en los Estados Unidos y Europa reconocieron que el marco tradicional de control de la basura industrial y la contaminación podría ser mejorado, animando a instalaciones industriales a aplicar políticas preventivas de mayor impacto, como los tratamientos de efluentes y residuos. Varios estudios habían demostrado que en las compañías relevadas, los procesos si se hubieran manejado con más eficiencia, hubieran comenzado con la reducción de la contaminación, tiempo atrás [6].

Los investigadores descubrieron que podrían ayudar a casi cualquier compañía a reducir los

### Objetivo 13. Acción por el Clima

Objetivo: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos

- Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países.

costos productivos con un análisis sistemático de las fuentes. Esto es conocido como ir “encima del tubo” (over of pipe), en contraposición a los tratamientos de al “final de tubo” (end of pipe), es decir antes de la descarga al ambiente. Intervenir en los procesos de producción, mejora las operaciones de compra, y en última instancia implica el diseño de los productos mismos. Pero esto requiere un equipo de producción, de administración y de especialistas ambientales [7].

En los ´90, en los Estados Unidos estas nuevas ideas y métodos fueron formalizados.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos decidió llamarla “Prevención de la polución” (Pollution Prevention) o P2. El P2 se plasmó en un acta que fue aprobada en 1990 por el Congreso de los Estados Unidos. El acta estableció que el P2 era una prioridad superior para proteger el ambiente contra la contaminación. Parte de la declaración recalca la idea que aunque el tratamiento de los desechos era importante, el esfuerzo debía hacerse en la prevención de la generación de los residuos al final del proceso, para evitar que tengan que ser tratados. El acta recalca que el reciclaje no es P2, es una forma de encontrar otro uso para algo que ya se ha convertido en “basura” [8].

En Europa, el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), desde la División de Tecnología, Industria y Medioambiente (Division of Technology, Industry and Economics) de París hizo observaciones similares y se focalizó específicamente sobre la necesidad de la prevención [9].

La Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible de Johannesburgo estableció como uno de los objetivos del plan de acción la necesidad de modificar las prácticas no sustentables de producción y consumo, incrementando entre otras cosas, las inversiones en programas de producción más limpia y ecoeficiencia, a través de centros de producción más limpia.

Por su parte, los países de la región manifestaron en la Iniciativa Latinoamericana para el Desarrollo Sustentable, presentada en la Cumbre, la necesidad de incorporar conceptos de producción limpia en las industrias, crear centros na-

cionales de producción limpia y trabajar en pos de un consumo sustentable. Esto establece el marco a nivel internacional para definir políticas nacionales y desarrollar planes de acción en producción limpia [9].

En países en vías de desarrollo, donde PNUMA es un recurso importante para la política ambiental, no existían o había débiles regulaciones para el tratamiento de la contaminación. La prevención sería por tanto rentable a través de una mejora en el manejo, logrando mayor eficacia como la única manera de reducir la contaminación de la industria. El PNUMA llamó a esto “Producción más Limpia”, CP (Cleaner Production) o P+L y promovió su aplicación convirtiéndose en el término usado en casi todos los países, con excepción de los Estados Unidos donde se utilizaba Prevención de la Polución.

No hay una diferencia verdadera entre los conceptos de Producción más Limpia y Prevención de la Polución, pues ambos se han ampliado para incluir el ciclo vital completo de productos y de los procesos, por lo tanto, el uso de cualquiera de los dos métodos es indistinto.

### ***B. Producción más Limpia en los procesos productivos***

La P + L Conduce al ahorro de materias primas, agua y energía; a la eliminación de materias primas tóxicas y peligrosas; y a la reducción, en la fuente, de la cantidad de toxicidad de todas las emisiones y desechos, durante el proceso de producción. Esto le permite producir la misma cantidad de productos con una menor cantidad de insumos [10].

El efecto es la disminución del costo unitario de producción y al mismo tiempo, la reducción de la cantidad de residuos generada.

En los productos, la P + L busca reducir los impactos negativos de los productos, de la salud y la seguridad, durante todo su ciclo de vida, desde la extracción de las materias primas, pasando por la transformación y uso, hasta la disposición final del producto.

En los servicios, la P +L implica incorporar el quehacer ambiental en el diseño y la prestación de servicios.

### C. Herramientas de Producción más Limpia

Las distintas Herramientas de la Producción más Limpia se pueden clasificar de acuerdo con el propósito de su aplicación y con el tipo de información que proveen. Por otro lado, la aplicación de estas herramientas se debe realizar de manera sistémica, lo que significa que algunos resultados de unas sirven como elementos para el desarrollo de otras [11].

### D. Clasificación de diferentes herramientas

Dentro de éstas herramientas, pueden ser clasificadas en tres grupos principales, dependiendo de su función, de la parte del proceso productivo que analizan, o del tipo de resultados que obtienen [11].

Estas herramientas se pueden dividir en:

- Según su Función.
- Por el tema de análisis.
- Como el tipo de Resultados.

Esta clasificación de las herramientas contenida en la Fig. 2, ya que facilita la selección de las mismas para su utilización.

### E. Descripción de herramientas de Producción más Limpia

Para ésta descripción, se definen las herramientas que siguen:

#### 1) Revisión inicial ambiental (RIA)

Es el primer elemento clave en la etapa de planeación ya que proporciona una fotografía del desempeño ambiental de una organización en un momento determinado. La definición de RIA puede ser la siguiente: la identificación y documentación sistemática de los impactos ambientales significativos asociados directa o indirectamente con las actividades, productos y servicios que ofrece la organización [13].

El resultado de la RIA debe ser un informe que incluya información sobre el consumo de materiales, energía, agua, y la generación de emisiones, descargas y residuos, incluyendo los impactos indirectos al ambiente y las estructuras gerenciales que deben hacerse cargo de los mismos.

#### 2) Eco mapa:

Es una herramienta de identificación y localización de áreas o puntos críticos o de alto riesgo de contaminación, visualizadas mediante el uso de

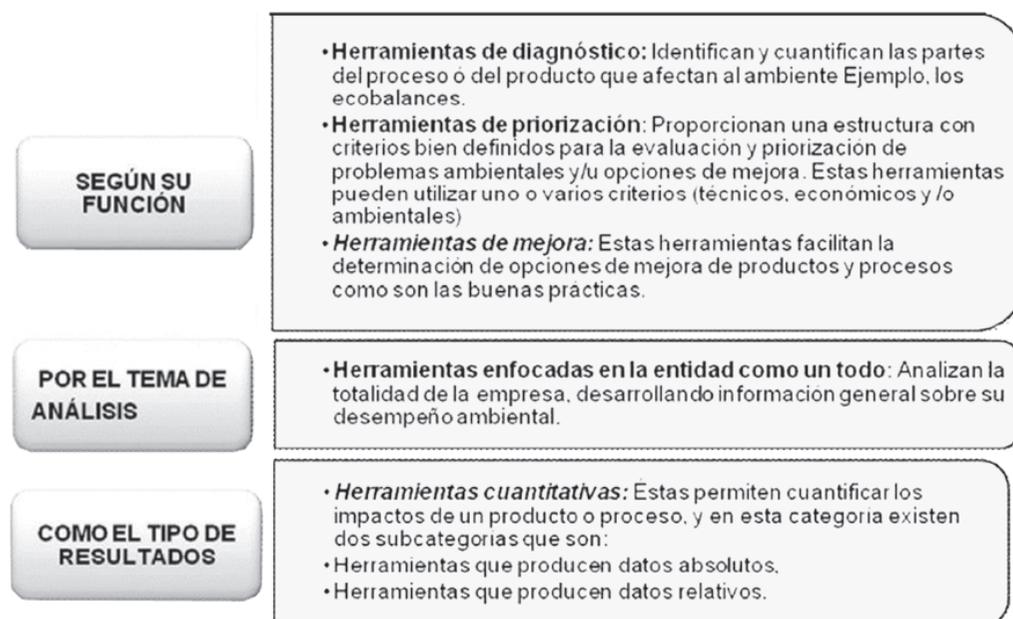


Fig. 2. Herramientas de la Producción Más Limpia[12].

planos y de figuras que contienen en general todas las instalaciones de la industria, donde se demarcan los puntos de interés, indicando el componente ambiental intervenido.

### 3) Eco-balance:

Su función principal es recopilar y organizar datos para evaluar estrategias de Producción más Limpia, reducción de costos y administración ambiental y financiera.

### F. Estrategias de Producción más Limpia

En la Fig. 3, pueden verse destacadas e identificadas las diferentes estrategias de producción más limpia, teniendo en cuenta una secuencia de implementación desde buenas prácticas, hasta cambios en procesos.

### G. Beneficios de la Producción Más Limpia

Dentro de este aspecto, tanto para las empresas productivas y de servicios, así como para el Estado,

les resulta menos costoso, prevenir la contaminación en la fuente, que mitigarla o eliminarla una vez que se ha producido; Este hecho, que no soluciona todos los problemas ambientales en una organización productiva, decrece la necesidad de equipos de tratamiento de la contaminación, al generarse menores cantidades de emisiones atmosféricas, residuos ordinarios y peligrosos a tratar y disponer[15].

Se pueden tener tres tipos de Beneficios al utilizar la P + L como estrategia:

- Beneficios en el área comercial: Esto permite a la organización comercializar mejor los productos posicionados y diversificar nuevas líneas de Productos [16]. Por otro lado, mejora la imagen Corporativa ante sus partes interesadas. Le permite acceder a nuevos mercados nacionales e internacionales. Finalmente, aumentar las ventas y sus diferentes márgenes de ganancias.
- Beneficios en el área de Producción y Operaciones: Aumenta la eficiencia de los

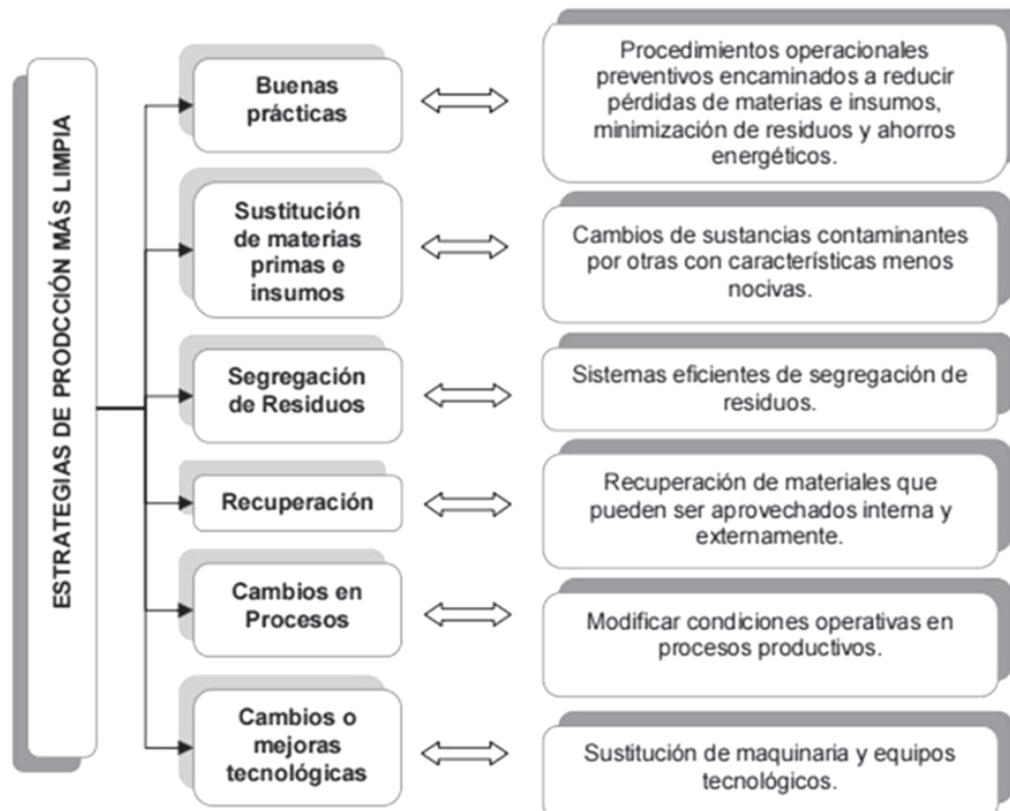


Fig. 3. Estrategias de Producción Más Limpia [14]

procesos industriales; Mejora sustancialmente las condiciones de Seguridad en las instalaciones, en la maquinaria y el equipo, en la seguridad y salud ocupacional de sus trabajadores. Por otro lado, reduce la generación de residuos, desechos y material que no se utilizará en el proceso y que puede reciclarse y venderse [17].

- Beneficio en el área Financiera: Como uno de los objetivos gerenciales, la reducción de costos hace parte de ese beneficio que da la P + L, a través del manejo uso óptimo de las materias primas; del ahorro en el mejor uso de la energía, del agua, de los combustibles e insumos requeridos en el mantenimiento de instalaciones y maquinaria. Esto redundará en el aumento de las ganancias, que es el fin último de toda organización [18].

## VI. CONCLUSIONES

El panorama que presenta la P+L no solamente como concepto sino como una práctica sostenible, requiere que las empresas busquen soluciones efectivas para la prevención de la contaminación y el impacto ambiental de las emisiones que producen sus procesos industriales. Al mismo tiempo, determina que la organización ganará frente a su implementación, ya que puede realizar análisis desde el origen de sus problemas ambientales, en el ciclo de vida del producto y a los efectos nocivos de la disposición de sus desechos.

Ya la P + L, no se considera una práctica innovadora, sino necesaria para que obtenga beneficios tanto en el manejo eficiente de sus materias primas, procesos productivos limpios a través del manejo de tecnologías igualmente limpias, de los ahorros en el manejo de energía, agua, combustibles, que redundan como una estrategia para conseguir ganancias.

Pero así mismo, la P + L no tendría sentido, sino se apuntan sus intereses a poder cumplir con los Objetivos del Desarrollo Sostenible para el 2030 en relación a los objetivos 6,7, 9,11,12 y 13 respectivamente, que velan por la sostenibilidad y la responsabilidad tanto de sectores gubernamental, empresarial y comunidad en general, que deben

realizar múltiples esfuerzos para completar lo que para el 2030 se quiere cumplir.

## REFERENCIAS

- [1] PNUMA. "Manual de Producción más Limpia Un Paquete de Recursos de Capacitación". Unidad de Industria y Medio Ambiente del PNUMA en Francia. 1999.
- [2] UNEP. "Conceptos básicos sobre PML". Red Nacional de Producción más Limpia. Cuba. 2006.
- [3] B. Gómez, "Del desarrollo sostenible según Brundtland a la sostenibilidad como biomimesis". Recuperado de: <http://www.dhl.hegoa.ehu.es/ficheros/0000/0784/Sostenibilidad.pdf>. 2014
- [4] G. De Vincentiis, "La Evolución Del Concepto de Desarrollo Sostenible". Recuperado de: [http://huespedes.cica.es/gimadus/23/09\\_la\\_evolucion\\_del\\_concepto\\_de\\_desarrollo\\_sost.html](http://huespedes.cica.es/gimadus/23/09_la_evolucion_del_concepto_de_desarrollo_sost.html). 2012.
- [5] PNUD. "Objetivos del Desarrollo Sostenible". Recuperado de: <http://www.co.undp.org/content/colombia/es/home/post-2015/sdg-overview/goal-6.html>. 2015.
- [6] Ministerio del Medio Ambiente. "Política de Producción más Limpia". Programa de producción más Limpia. Bogotá D.C., P.6. 1997.
- [7] CLEANER PRODUCTION INTERNATIONAL. "Una historia de Producción más Limpia". Recuperado de: <http://www.cleanerproduction.com/espanol/espanol.htm>. 2009.
- [8] Senado de los Estados Unidos. "Pollution Prevention Act of 1990". Recuperado de <http://epw.senate.gov/PPA90.pdf>. 1990.
- [9] PNUMA. "Indicadores Ambientales. Iniciativa Latinoamericana y Caribeña para el Desarrollo Sostenible Indicadores de seguimiento", Ministerio de Salud y Ambiente de Nación, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. México. 2012.
- [10] CONSEJO NACIONAL DE LA EMPRESA PRIVADA. "¿Qué es la Producción más Limpia?". Recuperado de: <http://www.conep.org.pa/prolimpia/templates/quepl.php>. 1997.
- [11] V. Hoof y A. Saer, "Producción más Limpia". Paradigma de Gestión Ambiental. Colección 3B. Bogotá D.C.: Editorial Alfaomega, 2008.
- [12] R. Alba y P. Vargas. "Formulación de Estrategias de Producción Más Limpia para el Sector de Fundición de Metales no Ferrosos en el Distrito Capital (Trabajo de Grado)". Universidad de la Salle. Bogotá, Colombia. 2018.

- [13] ISO 14001. Definiciones. Recuperado de <http://www.nueva-iso-14001.com/2014/12/iso-14001-revision-ambiental-inicial/>. 2015.
- [14] C. Robayo. "La Importancia de la Producción Más Limpia". Recuperado de: <http://www.ambientebogota.gov.co/documents/24732/3988006/capitulo+1.+Importancia+de+la+Producción+mas+limpia+en+IPS.pdf>. 2008.
- [15] UNIDO. "Conceptos básicos sobre PML". Red Nacional de Producción más Limpia. Cuba. Recuperado de [http://www.unido.org/fileadmin/import/71360\\_1Textbook.pdf](http://www.unido.org/fileadmin/import/71360_1Textbook.pdf). 2008.
- [16] C. Carreño y Y. D. Beltrán, "Sistemas de producción en una sociedad globalizada". Revista Ingeniería, matemáticas y ciencias de la información. Volumen 4. Número 7. Enero a junio; páginas 71 a 76. DOI: <http://dx.doi.org/10.21017/rimci.2017.v4.n7.a23>. 2017.
- [17] SECRETARÍA DE AMBIENTE Y DESARROLLO SUSTENTABLE. Antecedentes de Dirección de Producción Limpia y Consumo Sustentable. Recuperado de <http://www.ambiente.gov.ar/?idseccion=13>. 1997.
- [18] CONEP. ¿Qué es Producción más Limpia? Autoridad Nacional del Ambiente. Panamá. Recuperado de <http://www.conep.org.pa/prodlimpia/templates/quepl.php>. 2008.





<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

# ANÁLISIS DE PERCEPCIÓN SOBRE ESTRATEGIAS ADMINISTRATIVAS Y EL IMPACTO EN LA PRODUCTIVIDAD LABORAL

## *Analysis of perception about administrative strategies and the impact on labor productivity*

RUTH MILENA SUÁREZ CASTRO<sup>1</sup>, YOLIMA ANDREA RODRÍGUEZ RUBIANO<sup>2</sup>, NATALIA MUÑOZ PADILLA<sup>3</sup>

*Recibido:30 de mayo de 2017. Aceptado:07 de junio de 2017*

*DOI:<http://dx.doi.org/10.21017/rimci.2017.v4.n8.a33>*

### RESUMEN

Siendo la productividad la relación entre los resultados alcanzados y los recursos invertidos por la organización, se realiza un análisis de la percepción que tienen los trabajadores sobre estrategias administrativas que utilizan las empresas y su impacto en la productividad laboral. Se aplicó un instrumento para la medición de la productividad laboral vista desde eficacia de las estrategias administrativas a una muestra de 104 trabajadores.

Los resultados permitieron concluir que entre las estrategias administrativas que más aportan a la productividad laboral, desde la percepción de los trabajadores están: promover la motivación, promover la satisfacción del trabajador, mantener relaciones de trabajo positivas, manejo de conflictos, y retroalimentación.

**Palabras clave:** Estrategias, impacto, labor, productividad.

### ABSTRACT

As productivity is the relationship between the results achieved and the resources invested by the organization, an analysis of the perception that workers have on administrative strategies used by companies and their impact on labor productivity is carried out. An instrument for the measurement of labor productivity seen from the effectiveness of the administrative strategies was applied to a sample of 104 workers.

The results allowed to conclude that among the administrative strategies that contribute the most to labor productivity, from the perception of the workers are: to promote motivation, to promote worker satisfaction, to maintain positive working relationships, conflict management, and feedback

**Keywords:** Strategies, impact, labor, productivity.

## I. INTRODUCCIÓN

LOS PROCESOS de globalización económica se dan en constante dinamismo, por causa de los avances tecnológicos cada vez más rápidos en productos y servicios. Este proceso ha llevado a las naciones y a las empresas a valerse de múltiples indicadores para analizar su posición en el mercado. El nivel de productividad nacional está definido por el comportamiento de la productividad

empresarial y esta última depende de varios factores, entre ellos, el comportamiento de la productividad laboral.

Para las organizaciones es importante conocer el nivel de productividad laboral, este nivel depende del desempeño alcanzado por los trabajadores en el uso de los recursos, sin embargo medir el desempeño no siempre es sencillo, sobre todo cuando las actividades que se realizan por su

<sup>1</sup> Msc. Ingeniera industrial, docente investigadora del grupo O.C.A de la Corporación Universitaria Republicana. (Correo electrónico: [rsuarez@urepublicana.edu.co](mailto:rsuarez@urepublicana.edu.co))

<sup>2</sup> Estudiante de Ingeniería Industrial de 8 semestre y miembro del semillero productividad de la Corporación Universitaria Republicana.

<sup>3</sup> Estudiante de Ingeniería Industrial de 9 semestre y miembro del semillero productividad de la Corporación Universitaria Republicana.

variedad no tienen un tiempo de ciclo conocido, situación que se presenta generalmente en el sector servicios.

Este documento presenta una revisión documental de los conceptos de productividad, productividad laboral, así como la manera como se ha medido la productividad laboral en las organizaciones, a partir de allí se presenta la aplicación de un instrumento aplicado a trabajadores, con el fin de identificar las estrategias organizacionales que afectan el buen desempeño de los individuos y por ende afectan la productividad laboral.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. *Búsqueda y recolección de información en bases de datos*

Para este estudio se realizó una revisión sobre conceptos de productividad y productividad laboral por medio de artículos consultados en bases de datos (Science direct, Scielo, Dialnet, Google académico y Redalyc), así como tesis doctorales. Los criterios de búsqueda fueron productividad, productividad laboral y medición de productividad. Se enfatizó en documentos que estudiaran el concepto en empresas de fabricación y de servicios, dejando de lado los relacionados con Universidades.

Se empleó un instrumento desarrollado para evaluar la productividad laboral en empresas del sector eléctrico venezolano. El instrumento se aplicó en esta ocasión a una muestra de 104 individuos que actualmente se encuentran trabajando, la información recopilada fue analizada estadísticamente haciendo uso del software IBM SPSS 20, con el fin de identificar a través de la percepción del individuo, las principales estrategias organizacionales que impactan la productividad laboral.

## III. RESULTADOS

### A *Productividad*

La productividad a nivel general se entiende como la proporción que existe entre la cantidad de una salida y la cantidad de las entradas utilizadas para su elaboración [1], también como la medida

de que tan eficiente se utiliza el trabajo para producir valor económico, y se considera actualmente como un determinante principal del nivel de vida de un país [2] el cual depende de la capacidad de las organizaciones para alcanzar niveles de productividad elevados y mantenerlos a lo largo del tiempo [3].

Por su parte, Espinosa (2001) considera la productividad a nivel empresarial como una actitud mental que busca el mejoramiento continuo de las cosas [4], al considerar que siempre es posible realizar las cosas de una mejor forma, mediante la aplicación de nuevas teorías y métodos, para adaptar actividades económicas según las condiciones.

Como indicador a nivel nacional y empresarial, se mide la productividad basados en dos conceptos: Productividad total de los factores (que implica la inversión en capital, herramientas, insumos y trabajadores) y productividad parcial que solo incluye un factor (inversión en dinero o tiempo del trabajador).

Ante la necesidad de incrementar el indicador de productividad a nivel empresarial y por ende a nivel general, se han implementado estrategias que permiten que el resultado de los procesos empresariales sean mayor o igual a los recursos invertidos.

Por ejemplo, se puede asegurar que la productividad aumenta gracias al incremento de los procesos de innovación que implementan las organizaciones en general, unas más que otras, lo que genera un diferenciador respecto a las empresas que no lo hacen. Según Sanchez (2014), la inversión en I+D por parte de las empresas tiene un efecto positivo y estadísticamente implica un aumento en la productividad [5], por tanto se considera la innovación como una estrategia organizacional para asegurar procesos [6].

Aumentar la productividad implica innovar en tecnologías y procesos, así como aplicar estrategias organizacionales que permitan un ritmo continuo de utilidades por persona empleada en la labor.

La tecnología en la actualidad le trae grandes beneficios a la productividad empresarial. Los avances en tecnología, el ritmo al cual avanzan

los desarrollos y la facilidad de acceso a los mismos, permiten que se preste un mayor servicio evitando fatiga en los empleados y aumentando la productividad.

Una mejora en la productividad laboral debida a la aplicación e estrategias de I+D incide directamente en la productividad empresarial al aumentar la eficiencia productiva, los productos ofrecidos y al disminuir los costos de producción [7]; por ende influye directamente en la productividad de la nación.

La productividad empresarial incluye factores como capital, mano de obra entre otros factores, por tanto se procedera a continuacion a estudiar detalladamente la productividad desde la contribución de los trabajadores y conocida como productividad laboral.

### **B. Productividad laboral**

Por productividad laboral se entiende la relación entre las salidas o resultados obtenidos y el costo de la labor o el número de horas trabajadas por el personal de la organización [8], en términos de fabricación, es la relación de la producción de un proceso con la capacidad [9]. Tal como lo menciona [6] se considera productividad laboral a la distribución del valor agregado entre el número de empleados, la cual depende de factores como la motivación, el sitio de trabajo, la capacitación entre otros.

La productividad laboral es el resultado de la influencia de varios factores que inciden sobre los trabajadores en una organización. A pesar de que la productividad se mide como el cociente entre la producción real y el recurso invertido, es importante tener en cuenta que el recurso humano está sujeto a la influencia de factores psicológicos, no solo de carácter técnico o cuantitativo.

Para la medición de la productividad laboral se han desarrollado diferentes técnicas, algunas de tipo cuantitativo y de tipo cualitativo. Las técnicas de tipo cuantitativo incluyen modelos orientados a la actividad [6] por ejemplo: estudio del trabajo, simplificación del trabajo, análisis de pareto, método justo a tiempo, igualmente se puede medir con análisis de valor [8] análisis de costo-beneficio [8], presupuesto base cero.

Entre las herramientas cualitativas estan las técnicas relacionadas con el comportamiento [10]. La medición de la productividad no solo ha de utilizar medidas objetivas e indicadores, sino que puede hacerse basados en percepciones de la personas involucradas en el proceso [11], estas técnicas se aplican especialmente a la medición de la productividad laboral.

Inicialmente los análisis de productividad laboral han medido la cantidad de tiempo que ha sido invertido por los trabajadores para la realización de bienes y para la prestación de servicios, teniendo en cuenta el costo de la mano de obra y el tiempo incluyendo la manera en que ha sido administrado por el individuo, como variables que inciden en la productividad.

Se puede afirmar que la productividad laboral no solo depende de la manera como el trabajador distribuye el tiempo al o largo de la jornada laboral, sino que adicionalmente, las condiciones del trabajo, el lugar del trabajo, el tipo de tecnología utilizada y la posibilidad de cualificarse influyen de manera positiva en el desarrollo de las actividades laborales.

Según Cequea (2011), en las organizaciones los recursos son administrados por individuos que se esfuerzan para producir bienes y servicios de calidad y con eficiencia, por lo tanto cualquier intención de mejora continua es generada por los mismos individuos en sus lugares de trabajo [11]. Es decir, que es el recurso humano quien decide el aprovechamiento real de los recursos a través del poder y la voluntad [12].

### **C. Variables que afectan la productividad**

En empresas de la industria manufacturera Latinoamericana se ha encontrado que la productividad laboral es inferior que en países Europeos, se considera que esto es originado por falta de capacitación en los trabajadores, especialmente cuando se decide innovar o implementa nueva tecnología. Desarrollar capacidades en los trabajadores incrementa las competencias y cualidades y esto favorece a la organización. Adicionalmente capacitar a los trabajadores los enfrenta a retos y los estimula y mantiene satisfechos con su trabajo [13].

La formación de los individuos en las organizaciones tienen un efecto positivo en el rendimiento y por tanto en la productividad, entre mayor conocimiento tenga el individuo sobre la actividad que realiza y sobre la tecnología a utilizar, mejor será el resultado obtenido [14].

Además de la innovación y la capacitación [15] indica que, cuando los empleados es tan motivados la productividad aumenta ya que si un trabajador logra realizar varias tareas que antes requerían más tiempo o más personal, esto genera que los gastos de la empresa se disminuyan a medida que la productividad aumenta, y los trabajadores aumentaran sus ingresos a medida que la empresa crezca.

El entorno en el que vive y trabaja el individuo es un determinante de la productividad laboral y de la calidad del trabajo que realiza. Entonces, se hace necesario que las organizaciones aseguren un clima favorable para la cooperación, que genere confianza y optimismo, motivación y satisfacción, así mismo que elimine el egoísmo y las actitudes negativas de los individuos.

Cuando la organización asegura un clima organizacional apropiado y una cultura colectiva, se genera sentido de pertenencia y compromisos más allá de los propios intereses del individuo, lo que resulta beneficioso para toda la organización [16]. Si se logra mantener un clima laboral distensionado, se permite que los individuos busquen el cumplimiento de los objetivos, mientras que un clima negativo supone una falta de identificación de los individuos con los objetivos organizacionales, así como un mal ambiente de trabajo que genera situaciones conflictivas, bajo rendimiento, ausentismos laboral e ineficacia.

Sin embargo, se ha encontrado información que muestra la influencia de otros factores en la mejora de la productividad laboral, entre los factores más estudiados se encuentran: la administración, creación el conocimiento, aprendizaje organizativo, toma de decisiones, estilos de dirección estos enfocados en estrategias administrativas de la organización, y por otro lado están la capacitación de los trabajadores, remuneración, estabilidad, ética del trabajo y trabajo en equipo [17], que son estrategias enfocadas en el desarrollo del recurso humano.

A su vez, el estado de salud de los individuos en los lugares de trabajo es otro factor de relación con la productividad laboral. De acuerdo con Zamora (2010) en un estudio sobre trabajos pesados, evidenció que un individuo presenta mejores condiciones de salud cuando en el trabajo existe una mayor capacidad de tomar decisiones y hay un entorno laboral favorable, favoreciendo la productividad laboral [18].

Una situación desfavorable para la productividad laboral es el ausentismo, donde el individuo no asiste al trabajo por condiciones de salud. Sin embargo, se identifica otro factor denominado presentismo [19], que consiste en la asistencia del trabajador al puesto de trabajo permitiendo el paso de las horas sin realizar actividades productivas; entre las razones que pueden llevar a esta situación se encuentran: desmotivación, insatisfacción, enfermedad o incluso alteración de las actividades por causa del sueño que hacen que este no esté apto para la toma de decisiones y la solución de problemas en su horario de trabajo [20].

El presentismo se considera un factor que disminuye la productividad laboral dado que los trabajadores experimentan altos niveles de estrés, y bajo rendimiento o incumplimiento de sus funciones [18]. Existe por tanto una relación positiva entre la calidad de vida en el trabajo y la productividad del individuo que sea reflejada en la disminución del presentismo, en el incremento de la satisfacción, motivación, esfuerzo y compromiso del individuo en el desarrollo de las actividades laborales.

## IV. RESULTADOS

Teniendo en cuenta la propuesta presentada por [11], con el diseño del instrumento para evaluar la productividad laboral que se basa en la percepción del trabajador frente a las estrategias que implementan las organizaciones para dirigir al talento humano y que pueden repercutir en la productividad laboral, se realizó el análisis de los factores de mayor impacto en la productividad laboral, según la edad. Se aplicó el instrumento a una muestra de 104 individuos activos laboralmente y con edades inferiores a 50 años.

Los factores estudiados en cuanto al impacto que percibe el trabajador sobre su productividad laboral están relacionados con estrategias

administrativas del talento humano que implementan las empresas como mecanismo para el incremento de la productividad laboral y por ende del logro de los objetivos organizacionales.

Entre las estrategias analizadas están la motivación, la satisfacción, las relaciones laborales, el contenido de la tarea, el reconocimiento por la labor, método de trabajo, la claridad del rol, el manejo de conflictos, las capacitaciones, la evaluación de competencias, los valores organizacionales y la perspectiva común.

De acuerdo con la Tabla I, una de las estrategias administrativas que generan un muy alto impacto en la productividad de los trabajadores según la percepción que tienen ellos mismos, es la motivación, la cual permite que el trabajador sienta compromiso con el trabajo y con los objetivos de la organización, esta estrategia asegura tener siempre algún tipo de impacto en la productividad laboral.

Por otra parte, la claridad del rol que desempeña el trabajador, se constituye en otra estrategia a trabajar en las organizaciones, por tanto es imprescindible que las organizaciones cuenten con manuales de funciones donde las responsabilidades estén bien definidas, igualmente el promover mecanismos para que el trabajador se sienta satisfecho por el logro de los objetivos, también genera un impacto muy alto en la productividad.

El mantenimiento de relaciones de trabajo positivas con los compañeros de trabajo incide de manera muy alta, situación que puede deberse al

apoyo que se brindan los equipos de trabajo en busca de la consecución de objetivos organizacionales y que mitigan el efecto de las sobrecargas de trabajo.

De manera atípica se observa que no siempre el salario se constituye en una estrategia para la mejora de la productividad laboral, tal como lo muestra la Tabla I. Un 13% de la muestra manifestó no presentar ningún impacto en su productividad relacionada con la satisfacción que tienen con el salario devengado, puede suponerse entonces que aspectos como la motivación fruto del reconocimiento por la labor realizada es un factor de influencia mayor al salario.

Definitivamente, los trabajadores requieren mantener mecanismos de comunicación con los superiores a fin de conocer la apreciación sobre la labor realizada y la retroalimentación sobre aspectos positivos y negativos que permitan mejorar el propio desempeño, situación que se evidencia en el 23% de impacto positivo que presenta la estrategia, sin embargo hay un 3% de los casos donde el trabajador no siente que su productividad laboral se afecte por la retroalimentación de sus superiores.

A su vez, se encuentran estrategias encaminadas a generar constantemente retos al trabajador con tareas ambiciosas y lo suficientemente ejecutables para que sea posible llevarlas a la práctica, lo cual, de acuerdo a la percepción de los encuestados presenta un muy alto impacto junto con la interacción con los compañeros, la participación en la toma de decisiones, la motivación

Tabla I. Estrategias administrativas con muy alto impacto de en la productividad laboral.

Variable medida	Ningún impacto	Pequeño impacto	Mediano impacto	Alto impacto	Muy Alto impacto
Motivación (Compromiso del trabajador)	0%	1%	11%	46%	42%
Claridad del rol (Funciones claras)	1%	5%	18%	38%	38%
Satisfacción por logro de objetivos	0%	1%	15%	47%	37%
Relaciones positivas	0%	3%	15%	48%	34%
Satisfacción Salario	5%	8%	34%	31%	23%
Retroalimentación del jefe para mejora	3%	10%	24%	40%	23%
Retos en el trabajo	4%	9%	20%	46%	21%
Interacción con compañeros	1%	5%	18%	56%	20%
Participación en la toma de decisiones	5%	7%	30%	38%	20%
Motivación (Aporte bueno del trabajador)	5%	2%	15%	58%	20%
Animan a trabajador para aportar	4%	10%	30%	37%	20%

Fuente: autores.

debida a la percepción que tiene el trabajador de su aporte a la organización y por último a los mecanismos empleados por la organización para incentivar los aportes del trabajador en sus lugares de trabajo.

De acuerdo con la Tabla II, existen otros mecanismos que han de desarrollarse en la organización para que la mejora de la productividad tenga un alto impacto y en este caso existen mayor número de posibilidades. Entre las estrategias más sobresalientes según el análisis de la percepción de los trabajadores se tienen: Motivación por aporte bueno del trabajador (58%), la interacción con compañeros (56%) flexibilidad en la forma de hacer las cosas y la posibilidad de cambiar (55%), la creatividad en resolución de conflictos (54%), la coherencia entre el trabajo y los objetivos organizacionales (54%), el trabajo en equipo (51%), la toma de decisiones con ética por parte de la organización (51%) y la visión compartida 50%.

Según la Tabla II, existen por lo menos 9 estrategias administrativas que generan un alto impacto en la productividad laboral, por lo que ha de procurarse de que el impacto siempre sea positivo, teniendo en cuenta los datos de la Tabla II, que por lo menos el 50% de la muestra las considere importantes.

## V. CONCLUSIONES

Este estudio hace una contribución al análisis sobre las estrategias administrativas que generan un alto impacto en la productividad laboral y que han de fortalecerse en las organizaciones desde los departamentos de talento humano y desde los en-

cargados de la gestión de cada área de trabajo independiente del sector laboral.

El uso de estrategias como la motivación, la satisfacción por el logro de objetivos y el mantenimiento de relaciones positivas en los lugares de trabajo, aseguran siempre un alto impacto en la productividad laboral, en ninguno de los casos analizados, las estrategias mencionadas no mostraron algún impacto.

La percepción de los trabajadores derivada de las relaciones de trabajo y de la interacción del trabajador con sus compañeros muestra un alto impacto en la productividad laboral. La cultura y el clima organizacional determinan el tipo de relaciones laborales que se dan en la organización y este es un factor de alta importancia para asegurar una buena productividad laboral.

A pesar de que fue evaluada la inversión en capacitación, el desarrollo de capacitaciones y la evaluación de competencias, no presentaron alto impacto en la productividad laboral en comparación con aspectos como la motivación, la satisfacción y las relaciones laborales.

Las organizaciones han de promover buenas relaciones laborales, motivar a sus trabajadores y retroalimentar el desempeño si quieren incrementar la productividad del trabajador en el desarrollo de las actividades laborales.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente artículo agradecen a la Corporación Universitaria Republicana por el

Tabla II. Estrategias administrativas con alto impacto de en la productividad laboral.

Variable medida	Ningún impacto	Pequeño impacto	Mediano impacto	Alto impacto	Muy Alto impacto
Motivación (Aporte bueno del trabajador)	5%	2%	15%	58%	20%
Interacción con compañeros	1%	5%	18%	56%	20%
Flexibilidad en el hacer	2%	10%	28%	55%	6%
Creatividad en la resolución de conflictos	4%	5%	25%	54%	13%
Relación entre el trabajo y objetivos	4%	5%	25%	54%	13%
Trabajo en equipo	3%	9%	22%	51%	15%
Resolución de conflictos	5%	6%	29%	51%	10%
Decisión empresarial ética	2%	9%	30%	51%	9%
Visión compartida	2%	10%	25%	50%	13%

Fuente: autores.

apoyo para el desarrollo del proyecto: Evaluación de estrategias administrativas para mejorar la productividad laboral en trabajadores del sector servicios, del cual hace parte el presente artículo.

## REFERENCIAS

- [1] A. -P. Miró, «Diferenciales de productividad empresarial según su posición internacional. El caso del sector químico español» *Revista Dimensión Empresarial*, vol. 12, n° 1, pp. 73-83, 2014.
- [2] L. Jaimes-Carrillo y M. D. Rojas-López, «Una mirada a la productividad laboral para las pymes de confecciones» *ITECKNE*, vol. 12, n° 2, pp. 177-187, Diciembre 2015.
- [3] M. Galindo y V. Ríos, «Productividad» *Serie de estudios económicos*, vol. 1, 2015.
- [4] J. A. Espinosa García, «Productividad de los sistema-producto pecuarios en Mexico» *Técnica pecuaria en México*, vol. XXXI, n° 57, pp. 113-145, 2001.
- [5] P. Sanchez-Sellero, M. C. Sanchez-Sellero y F. J. y. C.-G. M. M. Sanchez-Sellero, «Innovación y Productividad Manufacturera» *Journal of Technology Management & Innovation [online]*, vol. 9, n° 3, pp. 135-145, 2014.
- [6] C. Morales Sandoval y A. Masis Arce, «La medición de la productividad del valor agregado: Una aplicación empírica en una cooperativa agroalimentaria de Costa Rica» *Tec Empresarial*, vol. 8, n° 2, pp. 41-49, agosto - octubre 2014.
- [7] J. A. Rodríguez y M. E. Rochina, «Innovación y productividad en las empresas manufactureras ecuatorianas» *Cuadernos económicos de ICE*, pp. 107-135, 2014.
- [8] M. E. Shehata y K. M. El-Gohary, «Towards improving construction labor productivity and projects' performance» *Alexandria Engineering Journal*, pp. 321-330, 2011.
- [9] T. Czumanski y H. Lšdding, «Integral Analysis of Labor Productivity» *Procedia*, vol. 3, pp. 55-60, 2012.
- [10] J. Prokopenko, *La gestión de la productividad. Manual práctico*, Ginebra: Oficina internacional del trabajo, 1989.
- [11] M. Cequea, C. Rodríguez-Monroy y M. Núñez Bottini, «Diseño de un instrumento para evaluar la productividad laboral en empresas del sector eléctrico venezolano» de *5th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management XV Congreso de Ingeniería de Organización*, Cartagena, 2011.
- [12] J. Guerrero y Y. I. Puerto Barrios, «Productividad, trabajo y salud: la perspectiva psicosocial» *Revista Colombiana de Psicología*, vol. 16, 2007.
- [13] H. Garza-Tamez, J. L. Abreu y E. Garza, «Impacto de la capacitación en una empresa del ramo eléctrico» *Daena: International Journal of Good Conscience*, vol. 4, n° 1, pp. 194-249, Marzo 2009.
- [14] O. Bocigas Solar, «Factores relevantes que influyen en la productividad del mercado español 2000-2015» Universidad Pontificia Comillas, Madrid, 2015.
- [15] C. G. Mena, «La productividad laboral no se ha traducido en bienestar» OIT, 2007.
- [16] J. G. Salazar, J. Guerrero, Y. Machado y R. Canedo, «Clima y cultura organizacional: dos componentes esenciales en la productividad laboral» *ACIMED*, vol. 20, n° 4, pp. 67-75, 2009.
- [17] YV de Naime, CR Monoy, W Guaita, «Modelo de factores que afectan la productividad» de *6th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management. XVI Congreso de Ingeniería de Organización*, Vigo, 2012.
- [18] J. D. Zamora Salas, «Salud Laboral, variable promotora de la productividad» *Revista de la Sociedad Española de Salud Laboral en la Administración Pública*, vol. II, n° 10, pp. 4-9, 2010.
- [19] R. Fernández García, «El presentismo laboral, una amenaza silenciosa» *actualidad empresarial*, pp. 1-41, 2011.
- [20] S. Arango Sánchez, «Los ritmos circadianos y la productividad laboral» *El cuaderno*, vol. 3, n° 5, pp. 39-57, 2009.





<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

# REFERENTES MEDIO AMBIENTALES PARA LA GESTIÓN DE PROYECTOS EN LAS ORGANIZACIONES

*Environmental references for the management of projects in organizations*

WILSON JAVIER CASTRO TORRES<sup>1</sup>, IVONNE EDITH CASTRO TORRES<sup>2</sup>, ANGIE MARIAN GONZÁLEZ GARCÍA<sup>3</sup>

*Recibido:30 de mayo de 2017. Aceptado:07 de junio de 2017*

*DOI:<http://dx.doi.org/10.21017/rimci.2017.v4.n8.a34>*

## RESUMEN

El presente artículo realiza una reflexión teórica sobre los elementos conceptuales abordados desde cuerpos de conocimiento como los promovidos por organizaciones y agremiaciones de índole internacional como el Project Management Institute (PMI®) y el Green Project Management (GPM®) como buenas prácticas para la gestión de proyectos, que a su vez, se materializan organizacionalmente con el uso de técnicas y herramientas gerenciales, y como estas definen un comportamiento organizacional con un enfoque hacia la gestión efectiva y estratégica de proyectos, pero que es su quehacer dejan de lado elementos de valoración del uso y oportunidad de los bienes ambientales que son explotados a la hora de ejecutar iniciativas de inversión mediante proyectos y no son incluidos en una evaluación ex – ante ni valorados dentro de la estimación de la línea base del proyecto.

**Palabras clave:** gestión de proyectos, evaluación ambiental, línea base, buenas prácticas, economía ambiental.

## ABSTRACT

This article presents a theoretical reflection on the conceptual elements approached from bodies of knowledge such as those promoted by international organizations and associations such as the Project Management Institute (PMI®) and the Green Project Management (GPM®) as better practices for the project management, which in turn, materialize organizationally with the use of techniques and tools managerial, and how these define an organizational behavior with a focus towards the effective and strategic project management, but that is their task leave aside valuation elements the use and timing of environmental assets that are exploited when implementing investment initiatives through projects and are not included in an ex ante evaluation or valued within the project baseline estimate.

**Keywords:** *project management, environmental assessment, baseline, good practices, environmental economics.*

## I. INTRODUCCIÓN

EL TÉRMINO gerencia ha sido abordado desde diferentes puntos de vistas epistemológicos, sin embargo, de acuerdo a Sisk y Sverdlík se define como un conjunto de acciones y funciones realizadas por empresarios, gerentes o supervisores, e incluso otros lo refieren a un grupo particular de personas es sinónimo del ejercicio de autoridad sobre sus vidas de trabajo [1]; en resumen, la

gerencia incluye los procesos de planear, organizar, actuar y controlar las diferentes actividades y operaciones de la organización, que por medio de la coordinación del talento humano y los diferentes recursos, lograr los objetivos de forma efectiva. El término gerencia puede describir como una actividad realizada por un profesional de planear, dirigir y alcanzar los objetivos de la organización con la integración y aprovechamiento de los recursos asignados; es decir hace alu-

<sup>1</sup> Docente Investigador de la Corporación Universitaria Republicana., vinculado al grupo de investigación OCA. Correo electrónico: wcastro@urepublicana.edu.co

<sup>2</sup> Docente Investigadora Universidad Piloto de Colombia, vinculada al grupo de investigación IG. Correo electrónico: ivonne-castro@unipiloto.edu.co

<sup>3</sup> Estudiante facultad de ingeniería – Semillero de investigación en Uso y aplicación de métodos cuantitativos en la gestión empresarial – Grupo de investigación OCA

sión a la labor o función de colocar en práctica los métodos, técnicas, estándares conocimientos y experiencias que permitan el mejor funcionamiento de la empresa u organización. Como lo señala Gutiérrez, los proyectos se transforman en la herramienta para lograr los objetivos estratégicos que se desarrollan mediante una sinergia del colectivo organizacional [2] en sincronía con estos elementos el PMI® establece que la gestión de proyectos es una herramienta que ejecuta la estrategia empresarial mediante el manejo efectivo de aspectos técnicos, administrativos, pero además de ello de elementos particulares de cada proyecto determinados por las variables de entorno y las expectativas de los stakeholders [3], conforme a lo anterior aparecen un conjunto de técnicas y herramientas que permiten realizar una gestión efectiva del proyecto dentro de las fases de inicio, planificación, ejecución, monitoreo y cierre, esta aplicación eficiente de estos recursos gerenciales impactan en el éxito del proyecto, tal como lo señalan los resultados del Pulse of the Profession® 2015 que revelan que las organizaciones de alto desempeño respaldan la dirección y gestión de proyectos a lo largo de la organización y que además de estar alineados con la estrategia empresarial, gestionan el talento de sus colaboradores y aplican prácticas estandarizadas de dirección y gestión de proyectos en toda la organización [4]. En ese sentido se logra evidenciar una armonía de los planteamientos que aterrizan la gerencia de proyectos, sin embargo la inclusión de elementos que aporten a la evaluación de impacto relacionado con el medioambiente en muchas ocasiones se subvaloran por parte de la gerencia de la organización y la misma dirección del proyecto.

El presente documento tiene como propósito establecer los elementos de común aplicación en el marco de lo establecido como buena práctica desde la perspectiva del PMI® y el GPM® para la gestión de proyectos y determinar cómo estos, son aplicables para la medición e inclusión de variables de valoración del impacto ambiental causado por el uso de bienes ambientales que son explotados durante la fase de ejecución del proyecto, para con ello establecer elementos de partida para la vinculación dentro de las prácticas organizacionales técnicas y herramientas que propendan por el desarrollo sostenible y la conservación de los recursos naturales.

## II. REFERENTES CONCEPTUALES

El abordaje de la medición, uso, aplicación y adopción de prácticas estandarizadas permite a su vez el incremento del valor agregado generado con un proyecto; sin embargo, a la luz de las prácticas estandarizadas, se pueden encontrar algunos referentes en Colombia como un estudio realizado en 226 empresas bogotanas en el año 2010 se concluye que cada unidad de negocio de estas organizaciones desarrolla y aplica su propia metodología para la dirección y gestión de proyectos y estas tienen la falencia que no son estandarizadas, no incorporan procesos, herramientas y técnicas derivadas de buenas prácticas y estándares internacionales [5], entre esas buenas prácticas aparece una nueva corriente hacia el desarrollo de proyectos con enfoque sustentable promovida por el Green Project Management® mediante el desarrollo de la metodología PRisMTM®, que consiste en una metodología de gestión de proyectos sostenible basada en principios, donde la principal diferencia con respecto a los enfoques tradicionales es que incorpora un modelo de maximización del valor que se centra en el ciclo de vida total del activo [6], es decir incorpora dentro de la fase de planificación del ciclo de vida del producto elementos valorativos del ciclo de vida del producto generado por el desarrollo del proyecto y lo transforma en un modelo efectivo de gestión de proyectos que alcanza los objetivos estratégicos de la empresa, enfatizando la responsabilidad con el entorno, e incorpora modelos de medición del impacto ambiental generado por el desarrollo y puesta en marcha de un proyecto en sincronía con los elementos de valoración e indicadores definidos por el programa de las naciones unidas para el medio ambiente y el desarrollo PNUMAD, y la comisión para el desarrollo sostenible CDS, que como lo señala Labandería, existe la necesidad de definir indicadores para que el concepto de sustentabilidad alcanzase a ser algo más que un objetivo difuso, y así desarrollar indicadores de desarrollo sostenible para proveer de bases sólidas a la toma de decisiones a todos los niveles y para contribuir a una sostenibilidad autorregulada y realizar un aporte desde el desarrollo económico que permita llegar a un consenso en que debe incorporar objetivos económicos, ambientales y sociales [7], entonces la empresa como ente que pertenece y realiza un aporte a la construcción y desarrollo de la sociedad demanda la integración

de prácticas que propendan por el desarrollo de actividades en un marco de sostenibilidad que permitan la medición y control de los impactos ambientales causados por el desarrollo de sus actividades empresariales y una de estas es el desarrollo de proyectos.

### III. LA GESTIÓN DE PROYECTOS Y LA GESTIÓN AMBIENTAL

La gestión de proyectos ha cobrado una papel importante en el desarrollo económico del país más aun cuando la ejecución de la política pública y la asignación de fondos públicos para inversión se realiza conforme al conjunto de programas desplegados desde el plan de gobierno y ejecutados por el departamento de planeación nacional mediante la aplicación de la metodología general ajustada que tiene su fundamento en la metodología general para la identificación, formulación y evaluación de proyectos promovida por la CEPAL<sup>4</sup> que presenta de forma clara enfoques para solucionar problemas; análisis de involucrados; participación ciudadana; incorporación del enfoque género en el ciclo de los proyectos; incorporación de la variable ambiental [8]; sin embargo, es esta última variable la que se valora de manera superflua a la hora de preparar los planes de gestión de proyecto, puesto que la normativa ambiental colombiana establece una serie de criterios de inclusión como estrategias de mitigación y evaluación del impacto ambiental a la hora de desarrollar el proyecto pero deja de lado la valoración e inclusión dentro de los costos del proyecto y su presupuesto los elementos que hacen referencia al costo de oportunidad y costo de uso de los bienes ambientales razón por la cual la estimación presupuestal y asignación de fondos no contempla los aspectos inherentes al consumo y explotación de recursos ambientales que si bien es cierto no po-

seen un mercado en el que se puedan tranzar si existen metodologías que permiten determinar su valor monetario esperado.

Claro ejemplo de esta situación se encuentran los proyectos financiados por el Banco interamericano de desarrollo<sup>5</sup> quien cofinancia iniciativas de inversión articuladas dentro del plan de desarrollo del gobierno nacional y otros de gran interés desarrollados por iniciativa pública en cumplimiento del plan de gobierno entre los que se destacan según Bnamericas<sup>6</sup> autopista de la prosperidad con una inversión cercana de los 7.170 MUSD, Ferrocarril del Casanare por 2.500 MUSD, Líneas del tren ligero de Bogotá 895 MUSD [9], sin embargo, aunque las cifras son elevadas solo representan una proporción de los recursos que se invierten en la ejecución de proyectos de inversión privada que alcanzan solamente en la ciudad de Bogotá según Ómar Oróstegui, director de Bogotá Como Vamos, la cifra de 2.800 MUSD; por otro lado en telecomunicaciones se proyectan inversiones por US\$3.300 millones, de las cuales el 35% corresponderá al sector privado, por el lado de carreteras la inversión llegará a los US\$900 millones, mayoritariamente privada, en energía, la participación privada es ya de gran importancia con proyectos como el de Proeléctrica en Mamonal con una inversión de US\$56 millones y la Planta Térmica de Las Flores en Barranquilla de un consorcio colombo - español por US\$150 millones [10], las anteriores iniciativas que si bien es cierto realizan una contribución importante al desarrollo económico y social del país causan un efecto adverso al medio ambiente y los recursos naturales como lo reconoce el anterior ministro de medio ambiente y desarrollo sostenible Neider Eduardo Abelló al referir que la política ambiental en Colombia ha evolucionado satisfactoriamente pero hace falta reforzar esfuerzos en esquemas de control y gestión ambiental [11].

<sup>4</sup> Comisión económica para el desarrollo de América Latina y el Caribe, La CEPAL es una de las cinco comisiones regionales de las Naciones Unidas y su sede está en Santiago de Chile, e fundó para contribuir al desarrollo económico de América Latina, coordinar las acciones encaminadas a su promoción y reforzar las relaciones económicas de los países entre sí y con las demás naciones del mundo. <https://www.cepal.org/es>

<sup>5</sup> Banco interamericano de desarrollo (BID) El BID es la principal fuente de financiamiento multilateral de América Latina. Ofrece soluciones para afrontar los retos del desarrollo y apoyo en áreas claves de los gobiernos adscritos a las naciones unidas, es posible consultar las iniciativas de proyectos aprobadas en: <http://www.bancomundial.org/es/country/colombia/projects/all>

<sup>6</sup> BNAmericas. Business News Americas (BNAmericas), es una fuente de inteligencia de negocios enfocada en América Latina. <https://web5.bnamericas.com/bnamericas/landing/about-us/index-es.html>

La política pública ambiental en Colombia tiene sus inicios en 1991, con la constitución política de Colombia que establece en su artículo 79 al medio ambiente como derecho fundamental [12], compromiso que se reafirma más adelante en 1993 con la ley 99, por el cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental [13]. Dentro de las reglamentaciones establecidas por el estado encontramos los informes de cumplimiento ambiental ("ICA") en el cual se incluyen la obligatoriedad de generar estudios de impacto ambiental ("EIA") y los planes de manejo ambiental ("PMA") que contemplan entre otras cosas la línea base antes de la actividad y su relación directa con posibles contaminantes. No obstante la perspectiva de este tipo de informes no engloba el concepto amplio que se debe trabajar de medioambiente y se reduce a generar panoramas del proyecto desde lo ecológico y ambiental.

De otra parte, se evidencia que más allá de las instituciones la puesta en marcha de la política pública como lo menciona el departamento de políticas públicas y descentralización de Chile; la ejecución de la política se materializa luego de una evaluación ex ante que permita formular y desarrollar planes y programas de desarrollo regional [14], comprendiendo esto se genera el primer plan nacional de desarrollo forestal el cual tiene como objetivo establecer un marco estratégico que incorpore el sector forestal al desarrollo nacional a partir del manejo sostenible de los bosques naturales y plantados [15], elemento que se transforma en la punta de lanza para determinar restricciones en la formulación y desarrollo de proyectos de inversión pública o privada que tengan impactos sobre el ecosistema, hasta llegar a la consolidación de política nacional para humedales interiores, estrategias para su conservación y uso racional, que permite consolidar el compromiso estatal de propender por la conservación y el uso racional de los humedales interiores de Colombia con el fin de mantener y obtener beneficios ecológicos, económicos y socioculturales, como parte integral del desarrollo del país [15].

Estos dos instrumentos parten del criterio de evaluación de la eficacia ambiental, vinculando los conceptos de efectividad ambiental definido como

la capacidad del instrumento para solucionar un problema ambiental, la incentivación a la introducción y desarrollo de tecnologías limpias [7] y la eficiencia económica como principio de la economía en que los gobiernos pueden mejorar los resultados del mercado a través de políticas que buscan controlar los precios porque consideran que los resultados del mercado son injustos [16] y a través de la intervención del estado aproximarse a una solución óptima que permita encontrar el punto de equilibrio entre el costo marginal de consumir y explotar bienes ambientales y el costo de oportunidad ligado a ese bien mediante su conservación; de hecho Guhl Nanetti refiere que la política ambiental en Colombia está desarrollada y avanzada pero el problema es que no se ejecuta, señalando que hay un Sistema Nacional Ambiental que existe jurídicamente, pero que no se ha materializado en la realidad [17].

Ante este panorama el compromiso del gobierno nacional decretado en el plan de desarrollo Prosperidad para Todos (2010-2014) y todos por un nuevo país (2014-2018) establece el derrotero en materia ambiental que permitirá alcanzar y ratificar el compromiso ambiental decretado por el gobierno nacional [18] en la ratificación del acuerdo de París donde el país se compromete a reducir su emisión de gases efecto invernadero en un 20% y con ello desarrollar una de las seis estrategias en materia ambiental 'Crecimiento verde' que busca mejorar la salud ambiental para disminuir del 2% a 1,7% los costos en la salud asociados a la contaminación del aire y los sistemas inadecuados de agua, saneamiento e higiene como porcentaje del PIB [19].

Es así como una deficiencia en la ejecución de la política pública por parte de los entes reguladores y la institucionalidad del estado representada por el ministerio del medio ambiente y desarrollo sustentable y las corporaciones autónomas regionales demanda la inclusión y compromiso por parte de los actores privados para la contribución a estos ambiciosos planes en tema medio ambiental, es así como no solo en la actividad productiva sino en el los programas planes de inversión se incluyen estos elementos como criterios de aceptación y validación para el desarrollo y ejecución de proyectos; es decir el papel estatal se limita al uso de instrumentos vía comando, control y gestión ambiental en materia

de los permisos de vertimiento, control, seguimiento y multas, que define parámetros vía precios de mercado como impuestos por vertimientos, impuesto por afectación de la calidad del aire entre otros para el desarrollo de actividades que demanden inversión y tengan una afectación al medio ambiente, elemento que es señalado por Labandería como mecanismos de precio más habituales que tienen el objetivo de recoger el daño ambiental causado por las emisiones gravadas [7].

Entonces, bajo esta premisa será el papel del gerente de proyecto y el comité gerencial de los proyectos definir esquemas de control ambiental que no solo se resuman en la actividad de verificación y auditoría de actividades, sino que tengan una presencia desde la formulación y conceptualización del proyecto de tal modo que permitan la inclusión de buenas prácticas ambientales en proyectos que incorporen un modelo de maximización del valor que se centra en el ciclo de vida total del activo [6], es decir dentro de la fase de planificación del ciclo de vida del producto elementos valorativos del ciclo de vida del producto, que permita cuantificar y transformar en variables económicas las acciones que el equipo de proyecto debe ejecutar para mitigar el impacto ambiental y con ello sacar el mayor provecho desde el punto de vista de los costos económicos del proyecto maximizando el valor agregado del proyecto vía costos no desembolsados que se generan por la reducción del impacto ambiental generado por las actividades propias del proyecto y medidas desde los parámetros que establece la legislación ambiental y tributaria del gobierno nacional.

Ante ese panorama los cuerpos de conocimiento promovidos por el *Green Project Management* y el *Project Management Institute* establecen elementos y criterios de aplicación para una gestión efectiva de un proyecto dentro del ciclo de vida del proyecto y del producto, partiendo de esto se establece una batería de herramientas que el gerente de proyecto debe aplicar dentro de la gestión de las áreas de conocimiento definidas por el PMBoK y siendo de esta manera incluso se desconoce dentro de estas la gestión ambiental al interior del proyecto y lo traslada a una fase preliminar, esto no quiere decir que no existe una preocupación por la inclusión de elementos de gestión y valoración ambiental incluso estos se pueden evidenciar en el *construction extention*

*Guide*® una guía a la construcción específica para el profesional de gestión de proyectos para cada una de las áreas de conocimiento, así como la orientación en áreas adicionales que no se encuentran en el PMBOK® como lo son gestión de recursos, salud, seguridad, seguridad y gestión ambiental, la gestión financiera del proyecto, además de la gestión de reclamaciones [20].

Por otro lado el *Green Project Management* establece criterios de valoración en pro de la triple línea base de sostenibilidad (social, ambiental y rentabilidad) mediante un cuerpo de conocimiento definido por el estándar P5™ de sostenibilidad para la gestión de proyectos que valora la gestión del proyecto en 5 elementos las personas, el planeta, la rentabilidad, los procesos de gestión y los productos, ahora pese a estos esfuerzos en términos de elementos vinculantes y necesarios para la aplicación de conocimientos en pro de culminar un proyecto de forma exitosa dentro de las restricciones de alcance, tiempo, costo y calidad respetando las restricciones de los interesados, aparece la normativa ambiental colombiana que establece que para el desarrollo de un proyecto es necesario la expedición de una licencia ambiental, amparada dentro del decreto 2820 de 2010 donde se establece que el alcance de un proyecto establece todas las actividades de planeación, emplazamiento, instalación, construcción, montaje, mantenimiento, operación, desmantelamiento, abandono y terminación de todas las acciones y uso de espacio [20], razón por la cual dentro del ciclo de vida del proyecto es necesario establecer acciones que permitan prevención, mitigación, corrección, compensación e incluso manejo de los efectos ambientales causados que pueden ser desde la modificación hasta el deterioro de los recursos ambientales.

Estos requerimientos fueron validados mediante el decreto 2014 de 2014 por el cual se reglamenta la expedición y competencia de las licencias ambientales y da potestad a las entidades territoriales, corporaciones autónomas regionales y a la autoridad nacional de licencias ambiental para la gestión y control sobre la expedición de estos permisos que regulan las actividades en los proyectos, entonces teniendo un panorama normativo claro, se evidencia la falencia a la hora de aterrizar estos requerimientos en procesos de gerencia sistemáticas que incluya la valoración y medición de variables ambientales dentro de las actividades propias

de la gestión del cronograma, gestión del tiempo y riesgos que permiten validar y actualizar la línea base del proyecto.

#### IV. CONCLUSIONES

Los proyectos demandan un conjunto de esfuerzos gerenciales y administrativos de diferente nivel de alcance dependiendo de la fase de desarrollo en la que se encuentre, sin embargo es necesario la inclusión de procesos estandarizados con herramientas y técnicas propias de una cultura organizacional proyectizada, sin embargo en pro de cumplir con los estamentos normativos y dar cumplimiento a una gestión sustentable que propenda por el bienestar social y la conservación de los recursos naturales es necesario que dentro de la cultura organizacional se realice un abordaje profundo de un enfoque de economía ambiental que ermita valorar el uso de los recursos naturales e incluya los costos de uso y oportunidad de los bienes ambientales dentro de la estimación, medición y control de los componentes de la línea base del proyecto.

El concepto medioambiente debe ser abordado de manera amplia, es decir su construcción debe incluir aspectos relacionados con lo ambiental, lo cultural y lo social en atención a premisas de desarrollo territorial sustentable, esto con el único fin de lograr un análisis sobre vacíos y debilidades del proyecto que genere un abordaje integral de riesgos para la respectiva mitigación y compensación los posibles impactos que se generen.

Los cuerpos de conocimiento con reconocimiento internacional aparecen con instrumento que usa el formulador o gerente de proyecto para el desarrollo de las iniciativas de inversión, sin embargo y pese al esfuerzo realizado por los cuerpos colegiados que dirigen estas iniciativas no es lo suficientemente integral para abordar todas las dimensiones y aristas económicas y de contexto que puede tener un proyecto, es por ello que el gerente o evaluador debe estar en a capacidad de aplicar un dossier de elementos que permitan garantizar el éxito del proyecto tratando de preservar en mayor medida los recursos ambientales, teniendo en cuenta que la integración de elementos ambientales dentro del ciclo de vida del proyecto no es abordará de manera explícita dentro de estos.

#### REFERENCIAS

- [1] J. P. Pérez, «Instituto Universitario de Tecnología». 1998.
- [2] S. Gutiérrez, y K. Vargas & S. Gracia, «Proyectos, Innovación y Estrategia. Un paso firme hacia nuevos modelos en la gestión empresarial» *Tecnología en marcha*, 69-84. 2011.
- [3] PMI, P. M. «Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos», *PMBOK*. Pennsylvania. 2016.
- [4] Project Management Institute. «Pulse of profession. Pennsylvania». 2015.
- [5] S. Arce & H. López, «Valoración de la gestión de proyectos en empresas de Bogotá». *Revista EAN*, 60-87. 2010.
- [6] Green Project Management. «PRisM», Proyectos integradores de métodos sustentables. Obtenido de <https://greenprojectmanagement.org/prism-methodology>. 2017.
- [7] A. Labandería, C. León, & M. Vásquez. «Economía Ambiental». Madrid: Pearson Education. 2007.
- [8] CEPAL. Metodología general para la identificación, preparación y evaluación de proyectos de inversión pública. Santiago de Chile: Publicaciones de las naciones Unidas. 2005.
- [9] J. Detonni, «BNamericas». Obtenido de *Los 10 principales proyectos de infraestructura de Colombia - BNamericas 3rd Andean Infrastructure Summit*: <https://www.bnamericas.com/es/features/infraestructura/los-10-principales-proyectos-de-infraestructura-de-colombia-bnamericas-3rd-andean-infraestructura-summit.2013>.
- [10] DINERO. «Revista Dinero». Obtenido de *Proyectos públicos con capital privado*: [http://www.dinero.com/edicion-impresa/negocios/articulo/proyectos-publicos-capital-privado/20459?utm\\_source=semana.com&utm\\_medium=referral&utm\\_campaign=otras-publicaciones-busqueda](http://www.dinero.com/edicion-impresa/negocios/articulo/proyectos-publicos-capital-privado/20459?utm_source=semana.com&utm_medium=referral&utm_campaign=otras-publicaciones-busqueda). 2012.
- [11] N. Abello, «Valoración de bienes y servicios ambientales como herramienta para diseño de instrumentos de gestión ambiental en Colombia». Bogotá, Colombia. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=6bqmpDQq1y4>. 2013.
- [12] República de Colombia. «Constitución política». Bogotá. 1991.
- [13] Republica de Colombia. «Ley 99, Sistema nacional ambiental». Bogotá. 1993.
- [14] SUBDERE. «Guía Metodológica para la formulación de políticas públicas regionales». Santiago de Chile, Chile: *Subsecretaría de desarrollo regional y administrativo*. 2009.

- [14] Banco de la República. «Política ambiental colombiana». Bogotá. 2015.
- [15] G. Mankiv, «Principios de economía». Mexico D.F: *Cengage Learning*. 2012.
- [16] Semana «La política ambiental de Colombia es avanzada, el problema es que no se pone en práctica». *Semana Sostenible*. 2015.
- [17] República de Colombia. «Plan nacional de desarrollo (2014- 2018)» *Todos por un nuevo país*. Bogotá: Dirección Nacional de Planación. 2014.
- [18] DINERO. «Este es el aporte ambiental al plan nacional de desarrollo». *Dinero*. 2015.
- [19] Project Management Institute. «Construction Extention Guide». Netsquare, Pensilvania. 2012.
- [20] Ministerio del medio ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2010.





<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

# MODELOS DE RESILIENCIA ORGANIZACIONAL EN LAS PYMES Y SU IMPACTO EN LA CADENA DE ABASTECIMIENTO

## *Models of organizational resilience within SMES and their impact on the supply chain*

RICARDO ANDRÉS VILLALBA RIVERA<sup>1</sup>

*Recibido:30 de mayo de 2017. Aceptado:07 de junio de 2017*

DOI:<http://dx.doi.org/10.21017/rimci.2017.v4.n8.a35>

### RESUMEN

Las organizaciones y la sociedad están en continuo “cambio” definida en el diccionario de la real academia española como “Acción y efecto de cambiar”. Los cambios en una sociedad siempre han existido, el mundo ha evolucionado en varios escenarios, sociales, culturales, económicos, académicos [1]. Es importante señalar que los cambios surgen como respuesta a la globalización, al desarrollo de las nuevas las tecnologías de la información y comunicación, los cambios en los hábitos de consumo, los cambios en los precios de un oferente a otro. Por lo anterior este documento analizará los factores y/o características que hacen parte de los procesos de transformación organizacional “la gestión del cambio en las PYMES”, las cuales son importantes analizar desde la perspectiva de la cadena de suministro, con el propósito de lograr en las PYMES, mayor competitividad, frente a los cambios que se pueden originar en función de los clientes y los procesos que hacen parte de la cadena de abastecimiento.

**Palabras clave:** Transformación Organizacional, Cadena de abastecimiento, Resiliencia, Gestión, Procesos, Riesgos.

### ABSTRACT

Both organizations and society are changing continuously. The word change is defined by the dictionary of the Royal Spanish Academy as “action and effect of change”. Changes in a society have always existed, world has also evolved in several ways, including social, cultural, economic, and academic. It is important to point out that changes emerge in response to: globalization, development of new information and communication technologies, modification of consumption habits, and changes in prices from suppliers. Hence, this document will analyze the factors and features taking part in the processes of organizational transformation “change management in SMEs”, which are very important to analyze from the supply chain’s perspective with the aim of achieving greater competitiveness in SME’s, according to the customers’ needs as well as the processes belonging to such chain.

**Keywords:** *Organizational Transformation, Supply chain, Resilience, Management, Processes, Risk.*

## I. INTRODUCCIÓN

LAS PYMES son parte activa de la economía en el país, en Colombia hay 2,5 millones de micro, pequeñas y medianas empresas, según Confecámaras. Según el Dane, las Mipymes generan alrededor de 67% del empleo y aportan 28% del Producto Interno Bruto (PIB), según el Registro Único Empresarial y Social (RUES), en el país 94,7% de las empresas

registradas son microempresas y 4,9% pequeñas y medianas, Bogotá es el principal epicentro de las Mipymes del país al acoger a 740.069, equivalente a 29,38% del total nacional. De estas, 399.659 son sociedades y 340.410 personas naturales. Las anteriores cifras son importantes analizarlas desde la perspectiva de las diferentes actividades que se deben llevar a cabo al interior de las pymes, y con mayor énfasis en los procesos que hacen parte de la

<sup>1</sup> Docente Investigador Corporación Universitaria Republicana, Vinculado al grupo de investigación OCA. Ingeniero de Producción, Universidad EAN, Especialista en Gerencia de Proyectos, Universidad EAN, actualmente cursando Maestría en Administración de Empresas, Universidad EAN. Correo electrónico: ricardoavillalbar@gmail.com

cadena de suministro, lo anterior con el propósito de garantizar la continuidad de las PYMES, mediante procesos de transformación organizacional o gestión del cambio, con el propósito de lograr mejorar los indicadores de productividad, rentabilidad y satisfacción del cliente.

## II. ESTADO DEL ARTE

El desarrollo de este proyecto de investigación enmarca el análisis del sector PYME desde tres escenarios, capacidad de resiliencia, identificación del modelo de resiliencia, matriz de adaptabilidad, lo anterior desde la perspectiva del análisis y diagnósticos de los procesos que hacen parte de la cadena de suministro para una PYME, para esto comenzamos explicando los factores y/o características que hacen parte de los procesos de transformación organizacional "Resiliencia" En este sentido la gestión del cambio organizacional es descrito como: "la capacidad de adaptación de las organizaciones a las diferentes transformaciones que sufra el medio ambiente interno o externo, mediante el aprendizaje" [2]. Es importante analizar los distintos modelos de transformación organizacional "Resiliencia" con el propósito de identificar las ventajas y desventajas que ofrece cada uno de ellos y de esta manera asegurar el modelo más apropiado para una PYME, desde la integración y desarrollo de su cadena de suministro, como fuente de desarrollo empresarial. Es importante señalar, que para lograr este objetivo de transformación de las organizaciones se requiere realizar un análisis frente a las distintas capacidades dinámicas de integración que posibilitan la identificación temprana de oportunidades y amenazas [3], para una Pyme.

- 1) Análisis de la Capacidad de resiliencia
- 2) Identificación del modelo de resiliencia
- 3) Matriz de adaptabilidad

Por otra parte, es importante tener una definición clara y coherente frente al concepto de cadena de suministro definida como: "Una cadena de suministro está formada por todas aquellas partes involucradas de manera directa o indirecta en la satisfacción de una solicitud de un cliente. La cadena de suministro incluye no solamente al fabricante y al proveedor, sino también a los transportistas, almacenistas, vendedores al detalle (o menudeo) e incluso a los mismos clientes. Dentro

de cada organización, como la del fabricante, abarca todas las funciones que participan en la recepción y el cumplimiento de una petición del cliente. Estas funciones incluyen, pero no están limitadas al desarrollo de nuevos productos, la mercadotecnia, las operaciones, la distribución, las finanzas y el servicio al cliente" [4], por lo tanto para el desarrollo de este proyecto de investigación tomamos como referencia los siguientes procesos de la cadena de suministro:

Para el desarrollo de este proyecto de investigación se analizarán cada uno de estos campos de estudio con el propósito de identificar y caracterizar el modelo más adecuado para una Pyme.

## III. MODELOS DE "RESILIENCIA" O TRANSFORMACIÓN ORGANIZACIONAL

### A. Modelo HERO

Healty and Resilient Organizations es un modelo heurístico que describe el funcionamiento de las organizaciones saludables y resilientes [5]. El modelo HERO está determinado por tres elementos clave, que son:

- Recursos y prácticas organizacionales que permiten gestionar los procesos. Ej: autonomía.
- Empleados/Equipos saludables que muestran elevados niveles de bienestar. Ej: resiliencia.
- Resultados organizacionales saludables. Ej: desempeño.

Teniendo en cuenta que una organización resiliente tiene como objetivo lograr la excelencia en productos y servicios y a su vez las óptimas relaciones en la organización y con su entorno, este modelo plantea la importancia que tiene la resiliencia en todos los niveles de la organización, tanto individual como grupal [5].

El concepto de este modelo HERO, Organizaciones Saludables y Resilientes surge del contexto actual de la crisis económica a nivel mundial que hace referencia a organizaciones que sobreviven y se adaptan a la crisis y que incluso pueden volver-

se más fuertes y resistentes ante estas experiencias negativas [6]. Este modelo propone un proceso motivacional en el cual se predice el compromiso laboral, teniendo en cuenta las demandas y los recursos del trabajo. Al parecer los empleados tratan de adquirir recursos que valoran como la autonomía, las relaciones interpersonales que son importantes para alcanzar los objetivos de trabajo y pueden estimular el crecimiento personal y el aprendizaje.

### **B. Modelo de Resiliencia de Espina de Pescado**

Este modelo contiene cuatro tipos de estrategias que las organizaciones pueden tomar como modelo a desarrollar para mejorar su resiliencia, resistencia, fiabilidad, flexibilidad y redundancia. Este modelo sugiere la resistencia y la flexibilidad como las estrategias más exitosas; sin embargo, ninguna de las estrategias asegura el éxito de la recuperación de las organizaciones en un momento de crisis, esto dependerá del contexto en el cual se desenvuelve y el nivel de madurez de la organización para afrontar estas situaciones [7].

Este modelo reconoce que la organización tiene diversas capacidades y actividades que ocupan su día a día y que al final contribuirá a la mejora de la resiliencia que posee la organización. Algunas de las capacidades y actividades que posee la organización son específicas y puntuales que le permiten mantenerse en el contexto como por ejemplo la continuidad de negocio que, aunque es una actividad rutinaria de la organización para mantener sus operaciones, fortalece a la organización para ganar resistencia en sus operaciones y la permite estar atenta a posibles situaciones difíciles.

Dentro de las características que propone el modelo ayudan a crear un estado resiliente las siguientes:

**Acuidad:** es la habilidad que tiene la organización de reconocer la precedencia de las cosas que han ocurrido en el pasado y prevenir para el futuro situaciones riesgosas, entendiendo la situación actual y tomando información para detectar a través de alertas tempranas posibles riesgos y su forma de tratamiento. Esta habilidad es desarrollada con el tiempo utilizando como fuente la capitalización del conocimiento adquirido en situaciones adversas.

**Tolerancia a la ambigüedad:** es la capacidad que tiene la organización para continuar tomando decisiones sobre la marcha aun cuando la situación actual tiene altos niveles de incertidumbre.

Los cambios en los entornos competitivos en los que se desenvuelven las organizaciones normalmente traen confusión en las operaciones y en algunos casos se presenta la desaceleración en la toma de decisiones e implementación de iniciativas lo cual puede ser aprovechado por la competencia para tomar ventaja.

### **C. El modelo de Kurt Lewin**

Lewin define el cambio como una modificación de las fuerzas que mantienen el comportamiento de un sistema estable. Por ello siempre dicho comportamiento es producto de dos tipos de fuerzas: las que ayudan a que se efectúe el cambio (fuerzas impulsoras) y las que se resiste a que el cambio se produzca (fuerzas restrictivas), que desean mantener el statu quo.

Cuando ambas fuerzas están equilibradas, los niveles actuales de comportamiento se mantienen y se logra, según Lewin, un equilibrio "casi estacionario". Para modificar ese estado casi estacionario se puede incrementar las fuerzas que propician el cambio o disminuir las fuerzas que lo impiden o combinar ambas tácticas. Básicamente, la idea que propone es de descongelar valores antiguos, cambiar y recongelar estos nuevos valores.

**Descongelar:** Este paso comprende el hecho de crear conciencia de la necesidad de cambiar y de eliminar o reducir cualquier resistencia al cambio. Al iniciar el proceso de cambio la organización se encuentra en equilibrio. Esta primera etapa consistirá, por tanto, en hacer tan evidente la necesidad del cambio que todos los integrantes del grupo lo acepten. Esta etapa es necesaria para superar la resistencia de las personas que dificultan el cambio y esto se podrá lograr de tres maneras: reforzando las fuerzas que favorecen el cambio, debilitando las que lo dificultan, o combinando las dos formas anteriores.

**Creatividad y agilidad:** es la habilidad que tiene la organización para operar de forma novedosa en sus productos, servicios y operaciones al mismo tiempo que en la organización se presentan problemas que le restan movilidad a las organizaciones.

**CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE RESILIENCIA Y DESARROLLO ORGANIZACIONAL PARA UNA PYME  
DESDE EL ANÁLISIS DE LA CADENA DE SUMINISTRO**

Este proceso consiste en la identificación de factores o aspectos críticos de un proceso o conjunto de procesos, para este caso los procesos que hacen parte de la cadena de suministro.

**Tabla I.** Capacidad de resiliencia.

<b>Desarrollo de la capacidad de resiliencia</b>	
<b>Factores</b>	<b>Actividades</b>
Anticipar problemas potenciales para actuar de manera proactiva en la gestión de las dificultades.	Identificar en forma sistemática dificultades
	Actuar de manera pro-activa frente a los problemas
	Evaluar y gestionar dificultades
Capitalizar oportunidades que tiene como propósito generar soluciones desde la perspectiva de respuesta rápida sensible para aprovechar las oportunidades que ofrece el entorno.	Identificación temprana de oportunidades
	Emprender acciones para aprovechar oportunidades
	Desarrollar capacidad de respuesta rápida sensible
Optimizar los procesos de negocio dirigido al monitoreo y control permanente del progreso y los resultados logrados.	Verificación permanente de resultados
	Monitoreo continuo de los procesos
	Control constante de procesos de resultados
Mejorar la toma de decisiones mediante la medición de impacto y efectividad de las decisiones.	Verificación permanente de resultados
	Monitoreo continuo de los procesos
	Control constante de procesos de resultados
Caracterizar riesgos empresariales para identificar en forma anticipada riesgos potenciales y emprender las acciones que permiten enfrentar en forma efectiva las amenazas.	Anticipar potenciales para la empresa
	Categorización de riesgos empresariales
	Establecer plan de acción frente a riesgos potenciales
Desarrollar la capacidad de adaptabilidad para responder de manera ágil y flexible a las diversas circunstancias cambiantes del ambiente competitivo.	Capacidad para responder en forma ágil a las dificultades
	Flexibilidad para actuar ante diversas situaciones
	Capacidad de recuperación de situaciones traumáticas

Fuente: Elaboración propia

*IDENTIFICACIÓN DEL MODELO DE RESILIENCIA*

		Modelos de transformación organizacional		
		Hero	Espina de pescado	Modelo de kurt lewin
Capacidad de resiliencia		Nivel de apropiación empresa pyme		
Factor	Actividad	Calificación		
Anticipar problemas potenciales para actuar de manera proactiva en la gestión de las dificultades.	Identificar en forma sistemática dificultades	2	2	2
	Actuar de manera proactiva frente a los problemas	2	1	1
	Evaluar y gestionar dificultades	1	2	1
Capitalizar oportunidades que tiene como propósito generar soluciones desde la perspectiva de respuesta rápida sensible para aprovechar las oportunidades que ofrece el entorno.	Identificación temprana de oportunidades	2	2	2
	Emprender acciones para aprovechar oportunidades	2	1	2
	Desarrollar capacidad de respuesta rápida sensible	1	1	2
Optimizar los procesos de negocio dirigido al monitoreo y control permanente del progreso y los resultados logrados.	Verificación permanente de resultados	1	2	1
	Monitoreo continuo de los procesos	2	1	2
	Control constante de procesos de resultados	2	2	2
Mejorar la toma de decisiones mediante la medición de impacto y efectividad de las decisiones.	Verificación permanente de resultados	1	2	1
	Monitoreo continuo de los procesos	1	3	1
	Control constante de procesos de resultados	1	2	2
Caracterizar riesgos empresariales para identificar en forma anticipada riesgos potenciales y emprender las acciones que permiten enfrentar en forma efectiva las amenazas.	Anticipar potenciales para la empresa	1	2	2
	Categorización de riesgos empresariales	1	2	1
	Establecer plan de acción frente a riesgos potenciales	2	1	2
Desarrollar la capacidad de adaptabilidad para responder de manera ágil y flexible a las diversas circunstancias cambiantes del ambiente competitivo. Todos estos aspectos se sintetizan en la figura 4 que se presenta continuación.	Capacidad para responder en forma ágil a las dificultades	2	1	2
	Flexibilidad para actuar ante diversas situaciones	2	2	2
	Capacidad de recuperación de situaciones traumáticas	2	3	1
Meta		57	57	57
Total		28	32	29
Cumplimiento		49%	56%	51%

Fuente: Elaboración propia

#### IV. MATRIZ DE ADAPTABILIDAD FACTORES DE RESILIENCIA

En esta fase se elabora la matriz que servirá de soporte para realizar el análisis estructural y calcular el grado de dependencia de los factores de capacidad de resiliencia, frente a los procesos de

la cadena de suministro y el nivel de riesgos de cada uno de ellos. A continuación, se presenta una tabla que se puede utilizar como referencia para el desarrollo de esta fase.

Caracterización procesos		Análisis de Causas		Análisis de Efectos		Control
Proceso Cadena de suministro	Descripción y/o actividad	Modo potencial de falla (descripción del riesgo)	Causa de la falla	Efecto en el proceso	Factor de Resiliencia	Método de Mejoramiento
Compras	Evaluación y selección de proveedores	Selección de proveedores a bajo costo	Seleccionar proveedor, únicamente por su bajo costo	Baja calidad en el producto y cambio en el sabor, al no tener en cuenta las especificaciones del producto	Capitalizar oportunidades que tiene como propósito generar soluciones desde la perspectiva de respuesta rápida sensible para aprovechar las oportunidades que ofrece el entorno.	Evaluación de proveedores tanto por precio como por calidad
	Identificación de insumos y materia prima	Pérdida de clientes	Producto de baja calidad y mal sabor	Se reducen las ganancias para la empresa	Optimizar los procesos de negocio dirigido al monitoreo y control permanente del progreso y los resultados logrados.	Auditoría de calidad final del producto, antes de ser empacado y enviado a ventas
	Investigación de proveedores	Selección de proveedores a alto costo	seleccionar proveedor solo por sus altos costos en los insumos	se reducen las ganancias y adquieren pérdidas	Mejorar la toma de decisiones mediante la medición de impacto y efectividad de las decisiones.	Evaluación de proveedores por calidad y ajustando el precio.
	Recibir órdenes de pedido	Cambio de precios constantes en el proveedor	Pretextos de dólar o cualquier otra circunstancia que afecte los costos	Cambios constantes en las utilidades económicas de la empresa	Caracterizar riesgos empresariales para identificar en forma anticipada riesgos potenciales y emprender las acciones que permiten enfrentar en forma efectiva las amenazas.	Establecer pro contrato el rango de costos que se tendrán

Continuación

Caracterización procesos		Análisis de Causas		Análisis de Efectos		Control
	Generar órdenes de compra	Incumplimiento de proveedores	Falla de los proveedores en precio y entrega de los productos	Problemas legales que pueden disminuir incurrir en más gastos de operación para la empresa	Desarrollar la capacidad de adaptabilidad para responder de manera ágil y flexible a las diversas circunstancias cambiantes del ambiente competitivo.	Contratación de proveedores con experiencia en el tema.
	Gestión de inventario	Materia prima e insumo lleguen con falencias al área de producción	No se haga verificación del estado de la materia prima al momento de su llegada	Daños parciales y/o totales del producto, puede causar problemas de salud a corto y largo plazo	Mejorar la toma de decisiones mediante la medición de impacto y efectividad de las decisiones.	Auditoría de estado de materia al ser entregada al área de producción
Producción	Realizar un plan maestro de producción (MPS)	Fallas en el cálculo de la demanda	Demanda sobre-estimada	Sobre-costos en el proceso	Optimizar los procesos de negocio dirigido al monitoreo y control permanente del progreso y los resultados logrados.	Plan Maestro de Producción
	Planear la gestión de la calidad	Productos devueltos por el cliente	Carencia de procesos de gestión de calidad	Insatisfacción del por parte del cliente	Anticipar problemas potenciales para actuar de manera proactiva en la gestión de las dificultades.	Sistema de gestión de Calidad
	Gestionar la materia prima	Falla en la calidad de la materia prima	Materia Prima / Insumos de baja calidad	Productos con bajo índice de venta	Capitalizar oportunidades que tiene como propósito generar soluciones desde la perspectiva de respuesta rápida sensible para aprovechar las oportunidades que ofrece el entorno.	

## Continuación

Caracterización procesos		Análisis de Causas		Análisis de Efectos		Control
Fabricar el producto o prestar el servicio	Fallas en el prestación o desarrollo del producto	Capacidad del proceso de producción por fuera de los límites establecidos	Incumplimiento al cliente por parte de la oferta estimada	Optimizar los procesos de negocio dirigido al monitoreo y control permanente del progreso y los resultados logrados.	Modelo de producción	
Recibir materia prima y ordenes de producción	Faltantes de Materia prima	Carencia de procesos de conteo y revisión del estado de la materia Prima	Materia Prima Incompleta	Anticipar problemas potenciales para actuar de manera proactiva en la gestión de las dificultades.	Conteo de materia Prima al Inicio	
Control de calidad	Fallas en los procesos de gestión de calidad	Carencia de una cultura de gestión de calidad	Procesos misionales por fuera de los límites de calidad y control	Optimizar los procesos de negocio dirigido al monitoreo y control permanente del progreso y los resultados logrados.	Manual de procesos	
Gestión de mantenimiento	Equipos de producción sin proceso de mantenimiento preventivo	Falta de un proceso de gestión de mantenimiento preventivo	Equipo de producción detenidos por falta de mantenimiento	Caracterizar riesgos empresariales para identificar en forma anticipada riesgos potenciales y emprender las acciones que permiten enfrentar en forma efectiva las amenazas.	Ficha Técnica de equipos	
Entregar ordenes de producción	productos con fallas sin detectar	Falta de un proceso de detección de fallas tempranas	Productos en manos del Cliente con fallas en la operación	Desarrollar la capacidad de adaptabilidad para responder de manera ágil y flexible a las diversas circunstancias cambiantes del ambiente competitivo.	Control de calidad	

Continuación

Caracterización procesos		Análisis de Causas		Análisis de Efectos		Control
Almacén	Planear gestión de espacios y distribución	Capacidad sobre-dimensionada del almacén	Carencia de proyección de Insumos adecuados frente a la capacidad instalada del almacén	Sobre-costos de almacenamiento	Anticipar problemas potenciales para actuar de manera proactiva en la gestión de las dificultades.	Sistema de información de inventarios WMS
	Recibir, entregar y verificar las mercancías que llegan y salen de los almacenes	Fallas en el conteo y control de calidad de la materia prima/ productos en proceso / producto Terminado	Inventarios con problemas de calidad	Resultados del proceso de producción y ventas con problemas en la satisfacción del cliente	Desarrollar la capacidad de adaptabilidad para responder de manera ágil y flexible a las diversas circunstancias cambiantes del ambiente competitivo.	Sistema de información de inventarios WMS
	Verificar cantidades disponibles	Inventario con problemas de faltantes	Falta de procesos y procedimientos definidos	Demoras en los procesos de producción y/o ventas	Anticipar problemas potenciales para actuar de manera proactiva en la gestión de las dificultades.	Sistema de información de inventarios WMS
Transporte	Establecer la capacidad transportadora y alcance de la operación	Capacidad transportadora por fuera del alcance de las necesidades del cliente	Tiempos de tránsito y entrega de Materia prima y/o productos terminados por fuera de los límites establecidos por el cliente	Cliente interno / Externo insatisfecho	Capitalizar oportunidades que tiene como propósito generar soluciones desde la perspectiva de respuesta rápida sensible para aprovechar las oportunidades que ofrece el entorno.	Sistema de Ruteo
	Recoger y entregar mercancías	Disponibilidad del sistema de Transporte	Sistemas de transporte no acoplados a la necesidad del cliente	Incumplimiento en las entregas del producto al cliente	Anticipar problemas potenciales para actuar de manera proactiva en la gestión de las dificultades.	Sistema de Ruteo

## Continuación

Caracterización procesos		Análisis de Causas		Análisis de Efectos		Control
	Verificar ordenes de pedido, entrega y verificar las cantidades de las mercancías recogidas y entregadas	Entregas Incompletas al Cliente	Falta de un proceso de conteo de mercancía al momento de entregar el producto al cliente	Insatisfacción por parte del cliente	Anticipar problemas potenciales para actuar de manera proactiva en la gestión de las dificultades.	Firma de recibido de mercancías
Ventas	Realizar un estudio de mercados	Productos con poca acogida por parte de los clientes	Carencia de un estudio de mercados	Sobre-costos en el proceso de producción	Capitalizar oportunidades que tiene como propósito generar soluciones desde la perspectiva de respuesta rápida sensible para aprovechar las oportunidades que ofrece el entorno.	Estudio de mercados
	Diseñar la campaña de marketing	Poco reconocimiento de la marca y del producto por parte de los compradores	Carencia de campañas de mercadeo	Sobre costos en los procesos de producción	Mejorar la toma de decisiones mediante la medición de impacto y efectividad de las decisiones.	Campañas de marketing
	Promocionar y vender productos terminados	Baja demanda frente al producto	Estrategias de promoción y venta poco estructuradas	Incumplimiento en el presupuesto de ventas	Desarrollar la capacidad de adaptabilidad para responder de manera ágil y flexible a las diversas circunstancias cambiantes del ambiente competitivo.	Presupuesto de ventas
	Verificar el cumplimiento de metas	Desconocimiento del presupuesto de ventas	Falta de presupuesto de ventas	Falta de control en el proceso	Mejorar la toma de decisiones mediante la medición de impacto y efectividad de las decisiones.	Presupuesto de ventas

Continuación

Caracterización procesos		Análisis de Causas		Análisis de Efectos		Control
	Medir la satisfacción del cliente	Carencia de un proceso de medición de la satisfacción del cliente	Falta de un proceso responsable de la medición y control de la satisfacción del cliente	Disminución de las ventas	Mejorar la toma de decisiones mediante la medición de impacto y efectividad de las decisiones.	Estudio de satisfacción del cliente

Fuente: Elaboración propia.

## V. CONCLUSIONES

Los factores de análisis de resiliencia se constituyen como los factores claves de éxito frente al modelo de transformación organizacional de la cadena de suministro en las Pymes.

Lo anterior debido a que evidencia el factor relevante frente al nivel de riesgos del proceso, pero también evidencia las actividades a desarrollar por cada uno de los factores de resiliencia. Este trabajo de investigación permitirá generar un modelo de gestión del cambio para las PYMES, la cuales carecen de un diagnóstico frente a la cadena de suministro que puede llegar a desarrollar. De igual manera el trabajo de investigación presenta 3 modelos de transformación organizacional, los cuales permitirán conocer a profundidad el mejor modelo a implementar y los factores con mayor grado de apropiación y pertinencia frente al grado de desarrollo de la PYME frente a los procesos de la cadena de suministro.

El grado de resiliencia y de adaptabilidad organizacional está fuertemente influenciado por el desarrollo de actividades dinámicas e innovadoras dentro de la organización, los cuales se suscitan por una amplia directriz organizacional que enfoque los esfuerzos de gestión de desarrollo y cambio organizacional frente al cumplimiento de planes, programas que permitan el logro y cumplimiento de las metas trazadas para un periodo de tiempo, planeación estratégica, estos elementos sumados a una amplia capacitación y formación de los colaboradores frente al desarrollo de competencias de trabajo en equipo, liderazgo y cumplimiento de metas permitirá la transforma-

ción efectiva de los procesos tanto de la cadena de suministro como de los demás procesos de la organización.

lo social en atención a premisas de desarrollo territorial sustentable, esto con el único fin de lograr un análisis sobre vacíos y debilidades del proyecto que genere un abordaje integral de riesgos para la respectiva mitigación y compensación los posibles impactos que se generen.

## REFERENCIAS

- [1] A. Quirant and A. Ortega, *El cambio organizacional: la importancia del factor humano para lograr el éxito del proceso de cambio*. Revista de Empresa.18, 50-6. 2006.
- [2] E. Brooks, *Organizational Change*. The Managerial Dilemma. London: The MacMillan Press Ltd. 1980.
- [3] D. J. Teece, "Explicating Dynamic Capabilities. The Nature and Microfoundations of (Sustainable) Enterprise Performance". Strategic Management Journal, vol. 28, nº 13, pp. 1319-1350. 2007.
- [4] S. Chopra, y P. Meindl, *Administración de la cadena de suministro*. tercera edición. 2008.
- [5] I. Meneghel, M. Salanova & I. Martínez, *El camino de la Resiliencia Organizacional - Una revisión teórica*. Aloma, Vol. 32, No. 2., 13-24, Revista de Psicología, Ciències de l'Educació i de l'Esport. Disponible en <http://goo.gl/74muIJ>. 2013.
- [6] M. Salanova, S. Llorens, E. Cifre & I. Martínez, *We Need a Hero! Toward a Validation of the Healthy and Resilient Organization (HERO) Model*. Group & Organization Management, Vol. 37, No. 6: 785-822. Disponible en <http://goo.gl/r61sL2>. 2012.

- [7] C. A. Gibson and M. Tarrant, A 'conceptual models' approach to organizational resilience. *The Australian Journal of Emergency Management*, 25(2). 2010.
- [8] M. Godet, "Prospective et planification stratégique", Paris. Economica. (Edición en español, Godet, M..(1995) *Prospectiva y Planificación Estratégica*. Barcelona. SG Editores).1985.