



Arturo Fernando Rojas Rojas
Director General (e) del SENA

Esperanza Adriana Ramos Rodríguez
Directora SENA Regional Valle

Aura Elvira Narváez Agudelo
Subdirectora Centro Nacional de
Asistencia Técnica a la Industria –ASTIN
y Editora de la Revista

Miguel Ángel Solís Molina
Editor asociado de la Revista y
Coordinador del Servicio de Información y
Divulgación Tecnológica –SIDT

Julia Emma Zúñiga Rivera
Coordinadora de la Revista

Diana Castañeda Zuluaga
Diagramación y Diseño

Comité Científico

Eric Campos Cantón
Ph.D. of Applied Mathematics, Instituto Potosino de Investigación
Científica y Tecnológica A.C.
San Luis Potosí, S.L.P., México

Héctor Fabio Zuluaga Corrales
Ph.D. en Química. Jefe Departamento de Química,
Universidad del Valle, Cali, Colombia

Hernán Gabriel Svoboda
Ph.D. en Ingeniería, Profesor Facultad de Ingeniería
Universidad de Buenos Aires, Argentina

José Luis Munuera Alemán
Ph.D. en Ciencias Económicas y Empresariales
Universidad de Murcia, España

Juan Muñoz Saldaña
Ph.D. Profesor Investigador, Centro de Investigación
y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional
- Cinvestav - Unidad Querétaro - México

María Elena Gómez de Prieto
Ph.D. en Ciencias Físicas. Directora Grupo de Películas Delgadas,
Departamento de Física, Universidad del Valle, Cali, Colombia

Martín Ignacio Pech Canul
Ph. D. Materials Science and Engineering.
Worcester Polytechnic Institute, Worcester, MA. EUA, México

Pedro José Arango Arango
Ph.D. en Ingeniería y Tecnología de Materiales.
Director Laboratorio de Física de Plasma, Universidad Nacional
de Colombia, Sede Manizales, Colombia

Roberto Briones Gallardo
Ph.D. en Ciencias Físicoquímicas del Medio Ambiente,
Universidad Autónoma de San Luis Potosí – México

Comité Editorial

Andrés Felipe Hernández Moreno
Ph.D. Postdoctoral Fellow
School of Chemical & Biomolecular Engineering
Georgia Institute of Technology

Fabio Emiro Sierra Vargas
Posdoctorado en Ingeniería Energías Renovables.
Director del Grupo de Investigación en Gestión de la
Energía y de Mecanismo para Generación Limpia,
Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

Federico Sequeda Osorio
Ph.D. Ingeniería con énfasis en Ingeniería de Materiales,
Facultad de Ingeniería. Universidad del Valle, Cali, Colombia

Gilberto Bejarano Gaitán
Posdoctorado en Ingeniería con énfasis en Materiales.
Docente investigador Departamento de Ingeniería Metalúrgica
y de Materiales. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

Henry A. Colorado Lopera
Ph.D. en materiales, MSc en Ingeniería de materiales,
MSc. en Ciencias de los Materiales
University of California, Los Angeles, EE.UU.

José Ignacio Huertas
Ph.D. en Ciencias, Ms.C en Ingeniería Mecánica.
Director del CIMA, Instituto Tecnológico y Estudios Superiores
de Monterrey, México

Nelly Cecilia Alba de Sánchez
Ph.D. en Ciencias Físicas.
Profesora titular Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Occidente
Cali, Colombia

Ruby Mejía de Gutiérrez
Ph.D. en Ciencias Químicas, profesora titular,
Coordinadora del programa de posgrado de la Escuela
de Ingeniería de Materiales. Directora Grupo de Materiales
Compuestos, Universidad del Valle, Cali, Colombia

Yesid Aguilar Castro
Ph.D. en Nuevos Materiales y sus Tecnologías.
Director Grupo EIMAT, Universidad del Valle, Cali, Colombia

ISSN: 0122-056X
e-ISSN: 2256-5035
Impresión y acabados: Feriva S.A.
Traducción al inglés: Lynn Menéndez
Tiraje: 300 ejemplares
Enero - Junio del 2014
Fotografía carátula Paul Tamayo
Instructor Líder TGO Diseño de Calzado y Marroquinería,
Centro de Diseño y Manufactura del Cuero SENA

INFORMADOR TÉCNICO

Volumen 78 • Número 1 • Enero-Junio 2014 • ISSN 0122-056X • e-ISSN 2256-5035

TABLA DE CONTENIDO

EDITORIAL	5
 Evaluación térmica de sistemas geopoliméricos basados en metacaolín con incorporación de humo de sílice y ceniza de cascarilla de arroz	6
<i>Thermal assessment of metakaolin-based geopolymer systems produced with silica fume and rice husk ash.</i> Mónica A. Villaquirán, Erich Rodríguez, Ruby Mejía de Gutiérrez.	
 Validación y evaluación comparativa de la eficiencia de una estufa de leña mejorada bajo condiciones controladas y prueba de campo	12
<i>Validation and comparative assessment of an improved wood-burning cookstove under controlled conditions and in the field</i> Javier Dario Aristizabal Hernandez	
 Comportamiento de un motor diesel de 1105 HP operado mediante el sistema Dual-Fuel con diesel - gas natural en campos petroleros	25
<i>Performance of a dual-fuel natural gas/diesel engine in oil fields</i> Jorge Eduardo Arango Gómez, Fabio Emiro Sierra Vargas, Sergio Pérez Súa	
 Planeación estratégica del grupo de investigación BIOMATIC para el fomento de la innovación en el Centro de Diseño y Manufactura del Cuero del SENA	37
<i>Strategic planning of the BIOMATIC research group for promoting innovation at SENA's Leather Design and Manufacturing Center</i> Sandra Milena Velásquez Restrepo, Sebastián Valderrama Mejía, Jorge Castro Corrales	
 Estrategia para profesionalizar tecnólogos en operación de plantas petroquímicas	45
<i>Strategy for professionalizing technologists in petrochemical plant operation</i> Candelaria Tejada-Tovar, Ángel Villabona-Ortiz, Cristian Rodríguez- Bossa	
 Desarrollo de productos industriales tecnológicos en el marco de la periferia	55
<i>Developing technological industrial products in a periphery framework</i> Cristian David Chamorro R, David Chaquea Romero	
 Identificación de variables que afectarían la valoración de productos de las micro, pequeñas y medianas empresas dedicadas al desarrollo de software por encargo en Colombia	64
<i>Identifying variables affecting product valuation for micro, small, and medium enterprises dedicated to custom software development in Colombia</i> María Isabel Díaz Vega, Manuel Jose Ospina Ospina	
 Economía circular como marco para el ecodiseño: el modelo ECO-3	82
<i>Circular economy as an ecodesign framework: the ECO III model</i> Catalina Hermida Balboa C, Manuel Domínguez Somonte	
 Autores / Authors	91
 Directrices para la publicación de artículos en la Revista Informador Técnico	92
<i>Guidelines to publish articles in "Informador Técnico" Magazine</i>	

Evaluación térmica de sistemas geopoliméricos basados en metacaolín con incorporación de humo de sílice y ceniza de cascarilla de arroz¹

Thermal assessment of metakaolin-based geopolymer systems produced with silica fume and rice husk ash.

Mónica A. Villaquirán²
Erich Rodríguez³
Ruby Mejía de Gutiérrez⁴

Recibido 27-02-2014 Aceptado 16-05-2014

Resumen

Se presentan los resultados obtenidos al someter un material geopolimérico basado en metacaolín a una temperatura de 1.200 °C utilizando como activador alcalino una mezcla de hidróxido de potasio con diferentes fuentes de sílice: un silicato comercial de tipo potásico (SP), ceniza de cascarilla de arroz (CCA) o humo de sílice. Se ajustaron las proporciones de metacaolín y activador en la mezcla para obtener relaciones molares de $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ de 2,5 y $\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ de 0,28. También se estudió la sustitución del 50% del silicato comercial por CCA y humo de sílice, y se evaluó la resistencia a la compresión después de exponer la mezcla a diferentes temperaturas que variaron entre 300 y 1.200 °C. Se realizaron los respectivos análisis físicos, por ejemplo determinación de cambios volumétricos, y el estudio se complementó con un análisis microestructural realizado mediante difracción de rayos X y microscopía electrónica. A temperatura ambiente, los geopolímeros producidos reportan resistencias mecánicas entre ~30 y ~36 MPa. A 1.200 °C. Se aprecia que los materiales originalmente amorfos sufren una transformación hacia estructuras de naturaleza cristalina, específicamente mediante la formación de leucita y kalsilita. Se destaca el mejor desempeño termomecánico de los geopolímeros con un remplazo del 50% de SP por CCA, el cual luego de su exposición a 1.200 °C retiene el 44% de la resistencia que presenta a temperatura ambiente en comparación con el 26% retenido por el material de referencia.

Palabras clave: Geopolímeros; metacaolín; ceniza de cascarilla de arroz; humo de sílice; leucita.

Abstract

The effect of exposing metakaolin-based geopolymers to a temperature of 1200 °C was assessed using as alkaline activator a mixture of potassium hydroxide with different sources of silica: a commercial potassium silicate (PS), rice husk ash (RHA), and silica fume (SF). The amounts of metakaolin and activator in the mixture were adjusted to obtain molar ratios of 2.5 for $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ and 0,28 for $\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$. The substitution of 50% PS with RHA and SF was also studied, and the resistance to compression after exposing the mixture to different temperatures between 300 and 1200 °C was assessed. The respective physical analyses, such as determination of volumetric changes, were performed, and the study was complemented with a microstructural analysis conducted by X-ray diffraction and electron microscopy. At room temperature, the geopolymers presented mechanical strengths ranging between ~30 and ~36 MPa. At 1200 °C, materials originally amorphous were transformed into crystalline-type structures, specifically leucite and kalsilite. The best thermo-mechanical performance of the geopolymers was achieved by replacing 50% PS with CCA, which when exposed to 1200 °C retains 44% of its mechanical strength as compared with 26% retained by the reference material.

Key words: Geopolymers; metakaolin; rice husk ash; silica fume; leucite.

- 1 Proyecto: Desarrollo de materiales compuestos a base de geopolímeros y fibras de alta resistencia para aplicaciones de alta tecnología. Fecha de inicio: Agosto del 2012, Fecha terminación: Mayo del 2014. Financiado por COLCIENCIAS y ejecutado por la Universidad del Valle. Contrato RC. No. 0372- 2012. Investigación en curso.
- 2 Colombiano estudiante de Doctorado Grupo de materiales compuestos, Universidad del Valle, Cali, Colombia. Contacto: monica.villaquiran@correounivalle.edu.co
- 3 Colombiano, PhD, Investigador, Grupo de materiales compuestos, Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- 4 Colombiana, PhD, Profesor Titular Grupo de materiales compuestos, Universidad del Valle, Cali, Colombia.

Introducción

Los geopolímeros son obtenidos a partir de la mezcla en óptimas proporciones de un mineral de aluminosilicatos, tales como arcillas naturales, calcinadas o diferentes subproductos industriales (precursor) y una solución altamente alcalina denominada activador, la cual da origen a un material de características cementantes. Como principal producto se obtiene un gel de aluminosilicato (N-A-S-H), y en algunos casos se generan fases zeolíticas con ordenamiento de corto alcance como producto secundario (Duxson, 2006). La mezcla entre el precursor y el activador genera una serie de reacciones (geopolimerización) que se desarrollan a temperaturas cercanas a la ambiente, y el producto obtenido presenta propiedades comparables e incluso superiores a materiales cerámicos tradicionales (Xu and Van Deventer, 2000; Provis, 2009).

La estructura del geopolímero es principalmente una estructura tipo gel aluminosilicato, conformados por tetraedros de Si^{4+} con sustitución parcial por Al^{3+} donde el balance de carga se logra con la presencia de los cationes alcalinos, Na^+ o K^+ . En general, se emplean como activantes silicatos de sodio o potasio mezclados con hidróxidos de metales alcalinos (Ben Haha, 2011; Duxson, *et al.*, 2005). No obstante, se sugieren otras fuentes de sílice alternativas de menor impacto ambiental como la ceniza de cascarilla de arroz, humo de sílice, micro sílice, entre otras, las cuales son modificadas químicamente con soluciones de hidróxido de sodio o potasio (Rodríguez, 2009; Bernal, *et al.*, 2011a; Zivica, 2006). El empleo de estas fuentes alternativas de sílice permite la obtención de materiales más amigables con el medioambiente debido a la reducción del consumo del silicato comercial, (el cual es producido a temperaturas superiores de 1.400 °C), así como la utilización de materiales considerados por otras industrias como subproductos industriales y/o residuos. El objetivo de este artículo es evaluar el efecto de la exposición a elevadas temperaturas sobre la estructura y desempeño mecánico de sistemas geopoliméricos binarios con la utilización de un metacaolín (MK) como precursor, la incorporación de dos fuentes de sílice (CCA y HS) para la preparación del activador alcalino.

Materiales y Métodos

Materiales

Como material aluminosilicato, base del geopolímero, se empleó metacaolín comercial Metamax® (MK), con un contenido de SiO_2 de 51,52% y de Al_2O_3 de 44,53%. Como activador alcalino se utilizó la mezcla de una fuente de sílice con hidróxido de potasio (KOH). Las fuentes de sílice fueron una solución de silicato de potasio comercial ($\text{K}_2\text{O SiO}_3\text{H}_2\text{O}$) de PQP constituido por un 13,06% de K_2O , 26,38% de SiO_2 y 60,56% H_2O ; un humo de sílice comercial (HS) SikaFume®,

y una ceniza de cascarilla de arroz (CCA), obtenida a partir del tratamiento térmico controlado a 600 °C de la cascarilla. El contenido de SiO_2 amorfa para el HS y la CCA fue de 88,48 y 94%, respectivamente. La CCA se molió, en un molino de bolas por 20 min hasta obtener un tamaño medio de partícula $D[4,3]$ de 22,84 μm . El MK está constituido por partículas de tamaño medio $D[4,3]$ de 6,57 μm .

Proporciones de Mezcla

Se encontraron mezclas geopoliméricas, las cuales se identificaron con los códigos SP, CCA, y HS, en función del tipo de fuente de sílice utilizado en el activante, seguido del 50 que indica el porcentaje presente en la mezcla. Así, CCA50 corresponde a la muestra que contiene CCA con una proporción del 50% de sustitución de SP comercial. La incorporación del activador alcalino en la mezcla se ajustó para obtener sistemas geopoliméricos con relaciones molares totales de $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ de 2,5 y $\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ de 0,28.

Detalles del proceso experimental y ensayos

Para la preparación del geopolímero, el MK fue mezclado con la solución activante por un tiempo de 7 minutos y luego se procedió al vaciado en moldes cilíndricos de 30 mm de diámetro por 60 mm de altura. Posteriormente los especímenes se sometieron a un curado de 75 °C y una HR de 90% por un tiempo de 20 horas. Previo a la exposición a elevadas temperaturas los especímenes se secaron a 50 °C hasta alcanzar peso constante. Las temperaturas de estudio fueron: 300, 600 y 1.200 °C. La estabilidad térmica de los geopolímeros se determinó con base en la resistencia a compresión; dilatometría, complementariamente se efectuó el análisis microestructural, aplicando técnicas de difracción de rayos X (DRX) y microscopía electrónica (MEB).

Las medidas de dilatometría se llevaron a cabo en muestras de 4.6 mm de diámetro por 25 mm de largo. Cada muestra se puso dentro de un dilatómetro horizontal, los ensayos se realizaron en atmósfera inerte de N_2 con velocidad de alimentación del gas de 100 ml/min y carga de 30 CN, como patrón de referencia se empleó zafiro. Las muestras se calentaron hasta 1.000 °C y enfriadas dentro del dilatómetro naturalmente.

La observación de la morfología de las partículas se hizo a través de un microscopio electrónico de barrido marca JEOL, Ref: JSM-6490LV, alto vacío (3×10^{-6} torr) y se tomaron microfotografías de hasta 10 mil aumentos. El equipo cuenta con un Detector INCAPentaFETx3 Marca OXFORD INSTRUMENTS Modelo 7573. La muestra se materializó en un tanque Denton Vacuum Desk IV sobre una placa de oro, la cual se depositó sobre las muestras. El análisis de difracción

de rayos X (DRX) se realizó en un goniómetro de amplio ángulo RINT2000, usando la señal $K\alpha 1$ del Cu a 45 kV y 40mA. Se usó un paso de $0,02^\circ$ dentro de un rango de 5° - 70° a una velocidad de $5^\circ/\text{min}$.

Resultados y Discusión

Resistencia a compresión

En la figura 1 se presenta la variación de la resistencia a compresión a 28 días de curado para cada una de las mezclas, luego de su exposición a las diferentes temperaturas evaluadas. A temperatura ambiente, la matriz con 100% de silicato comercial (SP100) reporta 32 MPa y la mezcla con una sustitución de un 50% del silicato de sodio por CCA (CCA50) alcanza resistencias de 30 MPa, lo cual presentó una disminución de tan solo 7,8%. La utilización de HS, en igual proporción, generó un incremento de la resistencia a 36 MPa. Estos resultados indican, que a temperatura ambiente el reemplazo de SP por las fuentes alternativas de sílice de CCA y HS en porcentajes del 50% no afecta significativamente la resistencia.

Al incrementar la temperatura a 300°C se observó una notable caída resistente para todas las mezclas; el efecto más pronunciado correspondió a la muestra activada con SP. Las muestras con silicato comercial exhiben el mayor agrietamiento, tal como se puede apreciar en la figura 2, y por tanto a temperaturas de 600°C no fue posible realizar los ensayos a compresión de estas muestras. Por el contrario, la exposición a 1.200°C generó un incremento resistente en todas las mezclas evaluadas. Así, CCA50 y HS50 retienen el 44% y 28% la resistencia que presentan a temperatura ambiente, valores más altos de retención que los reportados por la muestra de referencia, la cual retiene el 26%.

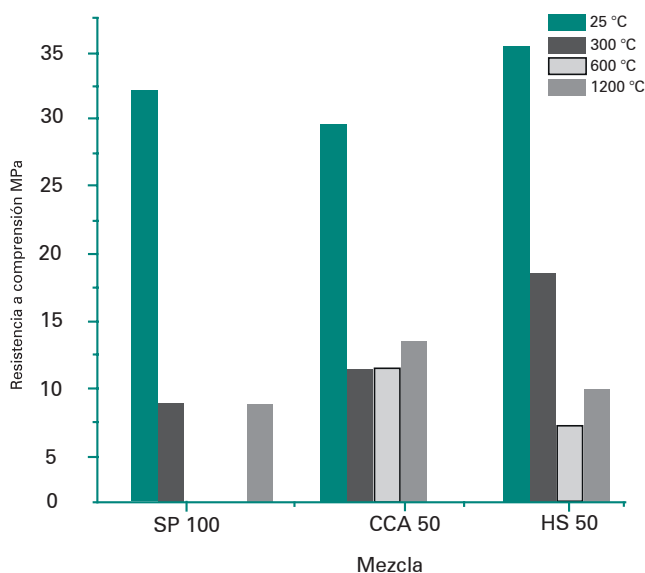


Figura 1. Resistencia a compresión de las pastas geopoliméricas.

Contracción, Expansión térmica

Las curvas de expansión térmica para las pastas estudiadas se mostraron en la figura 2. Las tres mezclas estudiadas a una expansión hasta $\sim 170^\circ\text{C}$, muestran una fuerte contracción hasta los $\sim 200^\circ\text{C}$ para luego expandirse. La contracción que se da hasta los $\sim 200^\circ\text{C}$ está relacionada con la deshidratación del agua libre y débilmente enlazada del gel geopolimérico. Observo que para las adiciones CCA y HS presentan curvas, a diferencia de SP que presentó la mayor expansión y un cambio de pendiente a $\sim 503^\circ\text{C}$ sugiriendo una mayor expansión de la muestra en un corto rango de temperatura. Todas las muestras presentan expansión hasta los 1.000°C y no es posible observar la contracción que sufren las muestras a los 1.200°C debido a la densificación de la estructura que se generó por la sinterización y el flujo viscoso. Las pérdidas en peso de SP100, CCA50 y HS50 expuestas a 1.200°C fueron 11,15%; 10,42% y 9,92% respectivamente; casi toda el agua de estos materiales existe como agua libre o débilmente enlazada, por lo cual se cree que no influencia la expansión de las muestras observadas en las curvas de dilatometría (Temuujin, Rickard, Lee, and van Riessen, 2011).

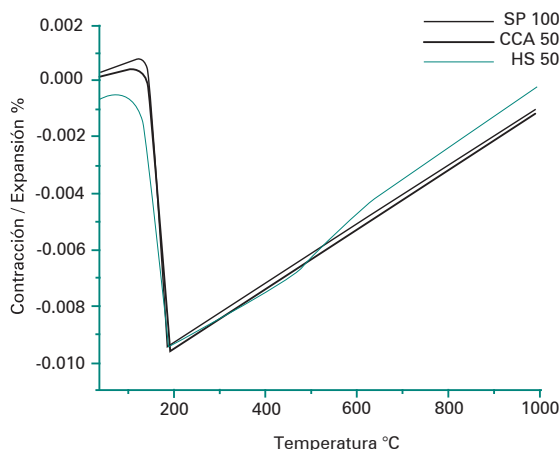


Figura 2. Curvas de dilatometría de pastas geopoliméricas. (Las muestras sólidas fueron curadas en tubos de plástico sellados a 75°C por 20 h).

En la tabla 1 se observó que a medida que aumentó la temperatura, el porcentaje de contracción volumétrica se incrementa; a temperatura de 1.200°C están entre 45-48%, valores similares a los encontrados por Bernal, (Bernal, *et al.*, 2011b), como consecuencia del aumento en la energía superficial del gel, debido a la liberación del agua de la superficie y de los poros pequeños, la cual hace que la red de gel porosa colapse parcialmente (Kong, Sanjayan, and Sagoe-Crentsil, 2008). Esto probablemente induce la microfisuración, como lo han observado otros autores en pastas geopoliméricas expuestas a alta temperatura

(Fernández *et al.*, 2010), la cual puede actuar como concentradores de esfuerzos y reducir la capacidad de las pastas de soportar carga. No se aprecia grandes diferencias entre las muestras en estudio. Sin embargo, de la apariencia de las muestras presentadas en la figura 2, se destaca que presentó mayor agrietamiento, y las muestras con CCA y HS la superficie es más limpia y con menor agrietamiento.

Tabla 1. Porcentaje de contracción volumétrica.

Mezcla	Contracción volumétrica %		
	300 °C	600 °C	1.200 °C
SP100	8,75	15,11	46,43
CCA50	7,92	13,35	48,65
HS50	8,69	13,76	45,06

Análisis microestructural

En la Figura 3 se muestran los difractogramas de los sistemas en estudio a las diferentes temperaturas de exposición. En los materiales sin exposición a temperaturas elevadas (25 °C), se apreció la desviación de la línea base en los ángulos 2θ entre 25 - 35°, atribuido al gel geopolimérico de elevado desorden estructural, y la presencia de anatasa (TiO_2) correspondiente a impurezas presentes en el MK de partida.

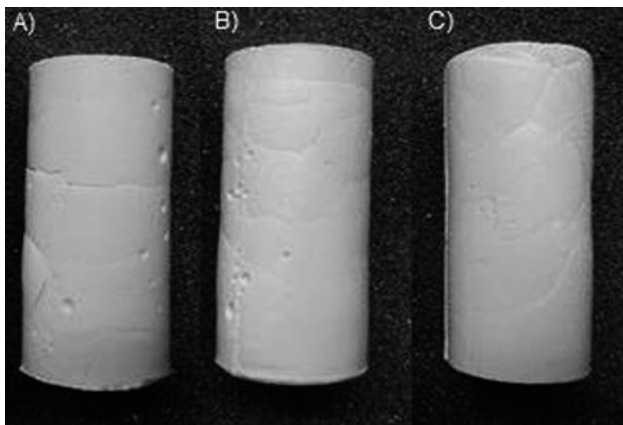


Figura 3. Muestras expuestas a 1200 °C. A. SP100; B. CCA50; C. HS50.

La exposición de los materiales a 1.200 °C condujo a la transformación del gel K-A-S-H mediante reorganización estructural y la posterior cristalización de estructuras tipo leucita (KAlSi_2O_6) y kalsilita (KAlSiO_4) para cada uno de los sistemas en estudio (con SP, CCA y HS). Esto dio lugar a una disminución significativa del grado de amorficidad, la cual se identificó mediante la desaparición de la desviación de la

línea base en los difractogramas de los materiales expuestos a 1.200 °C. Los picos correspondientes a anatasa del MK son igualmente identificados en los materiales, luego de la exposición a temperaturas elevadas. Estos resultados son coherentes con los estudios realizados por Tie-Song (Tie-song, 2009) y He (He *et al.*, 2010), quienes expresan que la formación de leucita puede ser favorecida en sistemas con metales alcalinos de mayor peso atómico, y elevado contenido de SiO_2 (Bell, Driemeyer, and Kriven, 2009).

En las micrografías de cada uno de los sistemas geopoliméricos sin exposición a 1.200 °C (figura 4), se apreció la presencia de partículas de MK sin reaccionar, embebidas en el gel y por tanto, la obtención de un material de elevada porosidad. Conforme se incrementa la temperatura de exposición, se observa de manera general una densificación estructural como consecuencia de la deshidratación de los productos formados y los cambios estructurales generados. Para el sistema HS50 expuesto a 1.200 °C se identificó el crecimiento de grietas, las cuales se generaron por efecto de los esfuerzos de contracción capilar durante la deshidratación y deshidroxilación del material. Estas grietas pueden conducir a una disminución significativa de la resistencia mecánica, lo cual se controló mediante la incorporación de partículas con elevada estabilidad térmica, tales como alúmina o circonio (Kamseu *et al.*, 2010) y la inclusión de fibras cerámicas (Bernal *et al.*, 2012).

Conclusiones

A temperatura ambiente el reemplazo de SP por las fuentes alternativas de sílice CCA y HS en porcentajes del 50% no afectó significativamente la resistencia.

La exposición a temperatura de 600 °C generó pérdidas de resistencia para todas las mezclas evaluadas; este efecto es más pronunciado en el sistema SP100 y HS50.

En general, el incremento resistente a la temperatura de 1.200 °C en todas las mezclas es atribuido a la formación de los nuevos componentes cristalinos estables a esta temperatura, tales como leucita y kalsilita.

El mejor desempeño termomecánico se identificó en la muestra con sustitución del 50% del silicato comercial por CCA (CCA50), el cual luego de su exposición a 1.200 °C retuvo el 44% de la resistencia inicial.

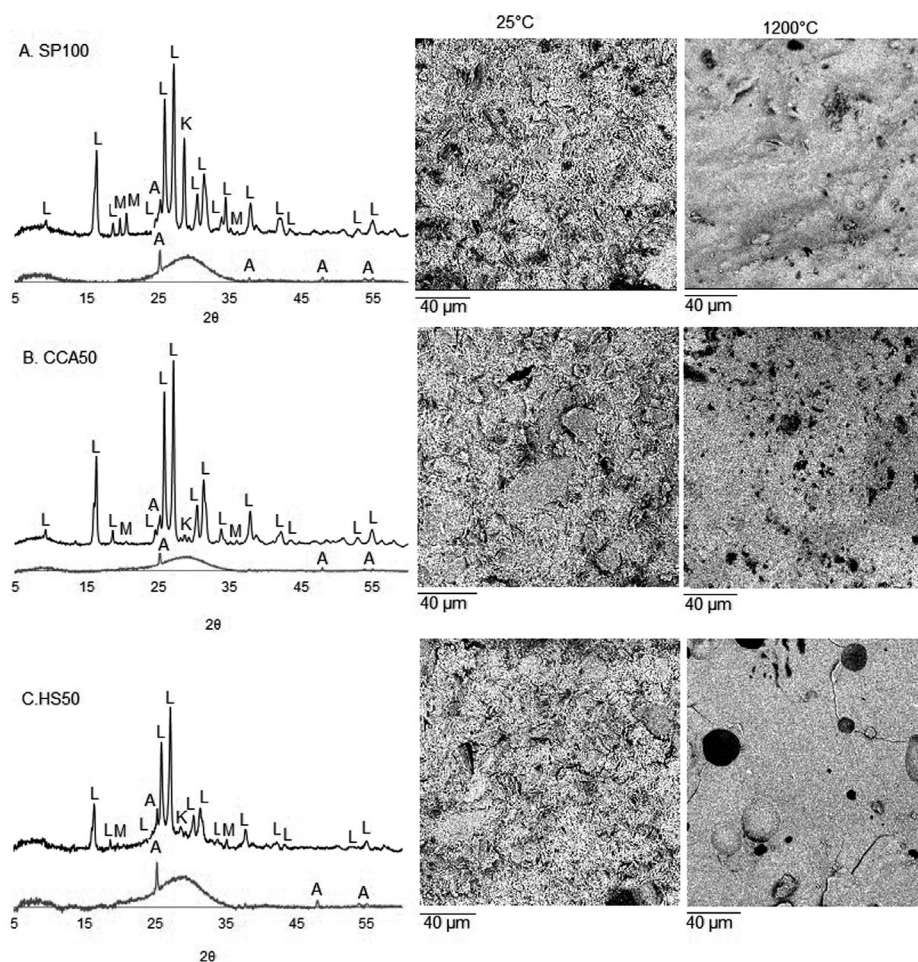


Figura 4. Difractogramas de DRX y Micrografías electrónicas de las muestras a 25 °C y luego del tratamiento a 1.200 °C.

Referencias

Bell, J. L.; Driemeyer, P.E.; and Kriven, W. M. (2009). Formation of Ceramics from Metakaolin-Based Geopolymers: Part I-Cs-Based Geopolymer. *Journal of the American Ceramic Society*, 92, 1–8. DOI:10.1111/j.1551-2916.2008.02790.x

Ben Haha, M.; Le Saout, G.; Winnefeld, F.; and Lothenbach, B. (2011). Influence of activator type on hydration kinetics, hydrate assemblage and microstructural development of alkali activated blast-furnace slags. *Cement and Concrete Research*, 41, 301–310.

Bernal, S.A.; Rodriguez, E.D.; Mejía de Gutierrez, R.; Gordillo, M.; and Provis, J. L. (2011a). Mechanical and thermal characterisation of geopolymers based on silicate-activated metakaolin/slag blends. *Journal of Materials Science*, 46, 5477–5486. DOI:10.1007/s10853-011-5490-z

Bernal, S.A.; Rodríguez, E.D.; Mejía de Gutierrez, R.; Provis, J.L., and Delvasto, S. (2011b). Activation of Metakaolin/Slag Blends Using Alkaline Solutions Based on Chemically Modified Silica Fume and Rice Husk Ash. *Waste and Biomass Valorization*, 3, 99–108. DOI:10.1007/s12649-011-9093-3

Bernal, S.A; Bejarano, J.; Garzón, C.; Mejía de Gutierrez, R.; Delvasto, S.; and Rodriguez, E. (2012). Performance of refractory aluminosilicate particle/fiber-reinforced geopolymer composites. *Composites Part B: Engineering*, 43, 1919-1928

Duxon, P.; Fernández-Jiménez, A.; Provis, J. L.; Lukey, G. C.; Palomo, A., and Deventer, J. S. J. (2006). Geopolymertechnology: the current state of the art. *Journal of Materials Science*, 42, 2917–2933. DOI:10.1007/s10853-006-0637-z

- Duxon, P.; Lukey, G. C.; Separovic, F.; and Van Deventer, J. S. J. (2005). Effect of Alkali Cations on Aluminum Incorporation in Geopolymeric Gels. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 44, 832–839. DOI:10.1021/ie0494216
- Fernández-Jiménez, A.; Pastor, J. Y.; Martín, A.; and Palomo, A. (2010). High-Temperature Resistance in Alkali-Activated Cement. *Journal of the American Ceramic Society*, 93, 3411–3417. DOI:10.1111/j.1551-2916.2010.03887.x
- HE, P.; Jia, D.; Lin, T.; Wang, M.; and Zhou, Y. (2010). Effects of high-temperature heat treatment on the mechanical properties of unidirectional carbon fiber reinforced geopolymer composites. *Ceramics International*, 36, 1447–1453. DOI:10.1016/j.ceramint.2010.02.012
- Kamseu, E.; Rizzuti, A.; Leonelli, C.; and Perera, D. (2010). Enhanced thermal stability in K₂O-metakaolin-based geopolymer concretes by Al₂O₃ and SiO₂ fillers addition. *Journal of Materials Science*, 45, 1715–1724. DOI:10.1007/s10853-009-4108-1.
- Kong, D. L. Y.; Sanjayan, C. J. G.; and Sagoe-Crentsil, K. (2008). Factors affecting the performance of metakaolin geopolymers exposed to elevated temperatures. *Journal of Materials Science*, 824–831. DOI:10.1007/s10853-007-2205-6
- Rodriguez, E. D. (2009). Efecto de las relaciones SiO₂/Al₂O₃ y Na₂O/SiO₂ en las propiedades de sistemas geopoliméricos basados en metacaolín. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*, 49, 30–40.
- Temuujin, J.; Rickard, W.; Lee, M.; and Van Riessen, A. (2011). Preparation and thermal properties of fire resistant metakaolin-based geopolymer-type coatings. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 357, 1399–1404. DOI:10.1016/j.jnoncrysol.2010.09.063
- Tie-Song, L. I. N.; De-Chang, J. I. A.; Pei-gang, H. E.; and Mei-rong, W. (2009). Thermal-mechanical properties of short carbon fiber reinforced geopolymer matrix composites subjected to thermal load. *J. Cent. South Univ. Technol*, 16, 0881–0886 DOI:10.1007/s11771
- Xu, H., and Van Deventer, J. S. J. (2000). The geopolymerisation of alumino-silicate minerals. *International Journal of Mineral Processing*, 59, 247–266. DOI:10.1016/S0301-7516(99)00074-5
- Zivica, V. (2006). Effectiveness of new silica fume alkali activator. *Cement and Concrete Composites*, 28, 21–25. DOI:10.1016/j.cemconcomp.2005.07.004

Validación y evaluación comparativa de la eficiencia de una estufa de leña mejorada bajo condiciones controladas y prueba de campo¹

Validation and comparative assessment of an improved wood-burning cookstove under controlled conditions and in the field.

Recibido: 03-03-2014 Aceptado: 10-05-2014

Javier Darío Aristizábal Hernández²

Resumen

Para determinar la eficiencia y el ahorro potencial de leña de un nuevo prototipo de estufa de leña, se ejecutaron tres protocolos utilizados internacionalmente para este propósito: (1) la prueba de ebullición de agua (WBT sus siglas en inglés), que evalúa la eficiencia térmica, el tiempo de ebullición, la tasa de incineración y el consumo específico de combustible (CEC) de la estufa; (2) la prueba de cocción controlada (CCT, sus siglas en inglés), que se aplicó en 30 hogares para determinar la eficiencia de la estufa en función del CEC; (3) la prueba de funcionamiento en cocina (KPT, sus siglas en inglés), que se aplicó en 30 hogares para medir el impacto real de la estufa mejorada en condiciones de campo. Se pudo establecer que la eficiencia térmica de la estufa es del 15%, lo que supone un ahorro en el consumo de leña del 33%. Los resultados de la prueba CCT indicaron disminución de 13,4% en el CEC, mientras que la prueba KPT reveló disminución de 11,6%. Los resultados de la investigación ratifican lo encontrado por otras investigaciones sobre el tema: la eficiencia de una estufa lograda bajo condiciones controladas no parece guardar relación con los ahorros de leña que se obtienen cuando una estufa es introducida en ambiente real de cocción.

Palabras clave: Estufa mejorada; eficiencia térmica; consumo de leña.

Abstract

To assess the efficiency and potential saving of fuelwood of a new and improved prototype of wood-burning cookstove, three well-known protocols were used: (1) the water boiling test (WBT), which assesses thermal efficiency, boiling time, burning rate, and specific fuel consumption; (2) the controlled cooking test (CCT), which was implemented in 30 rural households to establish the cookstove's efficiency in terms of specific fuel consumption (SFC); and (3) the kitchen performance test (KPT), also applied in 30 rural households, to measure impact in real household conditions. The improved cookstove presented 15% thermal efficiency, representing a 33% saving in fuelwood. In contrast, the CCT showed a 13.4% reduction in fuelwood consumption, whereas the KPT showed a 11.6% decrease. These research results confirm the findings of other studies in that the efficiency of improved cookstoves under controlled conditions does not necessarily relate to the fuelwood savings achieved when cookstoves are evaluated in a real kitchen environment.

Key words: Improved cookstove; thermal efficiency; fuelwood consumption.

1. La presente investigación, se adelantó en el marco del proyecto "Mecanismo para la mitigación voluntaria de emisiones de carbono en Colombia (CO-X1008) entre marzo y diciembre del 2013. Este componente del proyecto fue ejecutado por la Fundación Natura Colombia y financiado por el Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

2. Colombiano Ingeniero Forestal. Especialista en Planeación Ambiental y Manejo Integral de Recursos Naturales. Correo: jaristizabal@natura.org.co.

Introducción

Se estima que el 14% de la población colombiana, asentada mayoritariamente en las áreas rurales, dependen de la leña como su principal combustible para solventar sus necesidades de cocción de alimentos (DANE, 2008). El aprovechamiento térmico de este recurso se efectúa mediante el uso de fogones abiertos o estufas tradicionales con bajas eficiencias (menores al 10%) que demandan alto consumo para cumplir con determinadas labores de cocina. Se estima que la demanda de leña para cocción doméstica y producción de carbón vegetal, podría tener algún tipo de incidencia en los procesos de reducción y deterioro de la cobertura forestal afectando los bosques y la biodiversidad que ellos albergan; esta situación es particularmente relevante en África y menos prominente en Asia y América Latina (Kissinger *et al.*, 2012). Adicionalmente, el uso de fogones abiertos generan impactos negativos sobre el medio ambiente y la salud de las personas. El humo en espacios cerrados es responsable de 1,5 millones de decesos anuales en todo el mundo y afecta principalmente a mujeres y niños (OMS, 2006). Se sabe que la exposición frecuente al humo, producido por la combustión de la leña, tiene fuerte relación con enfermedades de tipo respiratorio como: la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), neumonía y asma, al igual que con diversos tipos de morbilidad oftálmica (OMS, 2006). Larsen (2004) indicó que en el contexto nacional, la contaminación intradomiciliaria es responsable del 16 al 25% de la morbi-mortalidad infantil entre el total de la población afectada por infección respiratoria aguda (IRA) y entre el 15% al 35% de la morbi-mortalidad en mujeres, ocasionadas por EPOC.

La combustión ineficiente de la leña produce sustancias altamente contaminantes como monóxido de carbono (CO), material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}) e incluso compuestos orgánicos persistentes (COP) que son liberados a la atmósfera en concentraciones muy por encima de los límites permisibles (OMS, 2006). Un estudio adelantado por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2007), señaló que la combustión de leña en el interior de la vivienda participaba con cerca del 9% de las emisiones nacionales de dioxinas y furanos. El uso de fogones o estufas ineficientes contribuyera con la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) hacia la atmósfera. La combustión ineficiente de la leña no solo es responsable de generar dióxido de carbono (CO₂), sino también otros gases con efectos potenciales de calentamiento global mucho mayores como: monóxido de carbono (CO), metano (CH₄) y diferentes óxidos de nitrógeno (NO_x). De forma reciente, se ha podido establecer que los aerosoles de hollín, una forma de material particulado compuesto principalmente por

carbono elemental, también presentan un fuerte potencial de calentamiento global que lo ubica como el segundo agente promotor del efecto de invernadero solo superado por el dióxido de carbono (Bachman, 2009). La producción de hollín es inherente a la combustión incompleta de la leña. Si se considera que la cocción doméstica tiene implicaciones directas en cada una de estas problemáticas, entonces es evidente que mejorar el proceso de combustión de la leña tendrá efectos benéficos sobre la salud de las personas y el medioambiente en general.

En la actualidad, los principales esfuerzos en esta materia se concentraron en el desarrollo y aplicación de tecnologías de cocción mejoradas que sustituyan los sistemas tradicionales que durante siglos han sido utilizados por muchas comunidades rurales, principalmente en países en vías de desarrollo. No obstante, existe un consenso entre investigadores y académicos que indican la necesidad de garantizar que las nuevas tecnologías de cocción cumplan con unos mínimos requisitos de rendimiento en términos de eficiencia, emisiones y seguridad (Global Alliance for Clean Cookstoves, 2013). Típicamente, la eficiencia energética ha sido el principal indicador de rendimiento que se tiene para determinar el funcionamiento de un nuevo sistema de cocción el cual se mide por los protocolos estandarizados, que se presentan en la tabla 1.

La presente investigación estableció y utilizó la eficiencia térmica del nuevo modelo de estufa mejorada, mediante la aplicación de las tres pruebas estandarizadas. De igual forma, se buscó determinar la diferencia entre la eficiencia arrojada bajo condiciones controladas, con respecto a los ahorros reales de leña cuando la estufa se introdujo en un auténtico ambiente de cocción.

Materiales y Métodos

La estufa mejorada FN es un nuevo prototipo de estufa de leña diseñado por la Fundación Natura y basada en la estufa ICA-1791 desarrollada en los años ochenta por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Su apariencia externa es muy semejante a la ICA-1791; su diferencia fundamental consistió en la configuración de la cámara de combustión, que adoptó el diseño “rocket” implementado por diferentes modelos de estufas alrededor del mundo (MacCarty *et al.*, 2008; Bryden *et al.*, 2005). Bajo este concepto de diseño, la cámara de combustión tiene forma angular, cuya sección horizontal corresponde al lecho de ignición, y su parte vertical comprende el ducto de combustión y ascenso de gases calientes. Para reducir las pérdidas de calor por conducción, la cámara de combustión se construyó con ladrillo refractario de material silico-aluminoso con el fin de generar el aislamiento térmico apropiado. La sección

Tabla 1. Protocolos utilizados internacionalmente para medir la eficiencia energética

Protocolo	Sigla en inglés	Mide	Condiciones en que se realizan
Test de ebullición del agua	WBT	De forma directa a la eficiencia térmica de la estufa	Bajo condiciones controladas. Se consideran test de laboratorio
Test de cocción controlada	CCT	El consumo específico de combustible como variable proxy de la eficiencia	
Test de rendimiento de cocina	KPT	Cuantifica la disminución del consumo de leña	Bajo un contexto real de operación de la nueva tecnología. Se efectúa bajo una rutina normal de cocina

transversal de la cámara es rectangular con una área de 280 cm². Una descripción más amplia de la estufa puede ser consultada en Aristizábal (2010).

Ubicación

Las pruebas se realizaron en el departamento de Santander (Colombia), en los municipios: los Santos, vereda La Purnia, a 6°52'N y 73°06'W y Zapatoca vereda San Isidro a 6°53'N y 73°13'W. Las veredas presentaron condiciones climáticas muy similares, 1.150 y 1.350 m.s.n.m., temperatura promedio de 25 °C y una precipitación promedio de 1.000 mm anuales.

Selección de familias y construcción de estufas

Se escogió una muestra de 30 familias, con el objeto de lograr resultados estadísticamente significativos, dada la alta variabilidad que se presenta en el KPT, (Harvey y Tomas, 2011; Bailis *et al.*, 2007). En cada lugar se seleccionaron 15 familias que debían cumplir con los siguientes requisitos: la leña era el combustible predominante en sus labores diarias de cocción y tenían una necesidad manifiesta de sustituir su fogón tradicional por la nueva estufa propuesta (figura 1). A las familias escogidas le efectuaron los estudios y evaluaciones de consumo de leña, y se construyó una unidad de la estufa FN.



Figura 1. (a) Fogón tradicional (b) y estufa mejorada FN (c) con chimenea externa

Materiales empleados

En la tabla 2 se presentan los materiales y equipos utilizados conforme al protocolo.

Tabla 2. Materiales y equipos utilizados de acuerdo con el protocolo

Cantidad	Materiales	Protocolo		
1	Balanza electrónica LEXUS de 6 kg de capacidad y 0,2 g de precisión	WBT	CCT	
1	Balanza electrónica colgante LEXUS de 50 kg de capacidad y 0,1 kg de precisión	KPT		
1	Termómetro digital DIGI-SENSE con termocupla para inmersión en líquidos	WBT		
1	Medidor de humedad GE-PROTIMETER Timbermaster	WBT	CCT	KPT
1	Cronómetro	WBT	CCT	
1	Flexómetro	WBT	CCT	
4	Ollas de cocina de 7 litros de capacidad	WBT		
4	Ollas de cocina de 2,5 litros de capacidad	CCT		
4	Soporte en madera para la termocupla	WBT		

Para el test de cocción controlada, se utilizaron los siguientes ingredientes por cada prueba: 500 g de arroz; 500 g de yuca (sin cascara); 1.800 g de agua; 30 g de aceite de cocina; 70 g de cebolla junca; 20 g de sal y 5 kg de leña.

Test de Ebullición del Agua (WBT)

A una familia escogida aleatoriamente entre las 30 familias participantes, en su estufa mejorada, se determinó la eficiencia térmica de la estufa FN, aplicando las tres fases del test de ebullición del agua (WBT) versión 4.2.2.

- Arranque en frío (*cold start*). En cada hornilla se colocaron cuatro ollas llenas con 5 litros de agua (figura 2a), donde se registró la temperatura inicial del agua, sumergiendo la termocupla hasta una profundidad de 5 cm por encima de la base de las ollas. La estufa se encendió con la leña previamente pesada (aprox. 5 kg) y cuando se tuvo la certeza de que el fuego no se apagará, se puso en funcionamiento el cronómetro. La intención de esta fase era conseguir, lo más pronto posible, la temperatura de ebullición local del agua en la olla colocada en la hornilla principal (figura 2b). Una vez la olla principal alcanzó el punto de ebullición local, se registró el tiempo transcurrido, se removió toda la leña de la estufa, se extinguieron aquellos pedazos que aún se encontraban encendidos y se procedió a pesarlos junto con la leña sobrante que no se utilizó en la estufa. (*The Water Boiling Test*, 2013). Los tizones de la cámara de combustión se extrajeron y se pesaron en la balanza (figura 2c) y se registraron las temperaturas alcanzadas en cada una de las ollas. Finalmente, se desechó el agua caliente para iniciar la segunda fase del test. (*The Water Boiling Test*, 2013).

- Arranque en caliente (*hot start*). Se utilizaron cuatro ollas de 7 litros y se llenaron rápidamente con 5 litros de agua a temperatura ambiente, previamente aforadas y pesadas; en cada olla se midió nuevamente la temperatura del agua y se reubicaron en las hornillas de la estufa. El fuego se encendió utilizando 5 kg de leña, previamente pesada, cuando existió la certeza de que no se apagaba, se puso a funcionar el cronómetro. Al igual que en la primera fase de la prueba, la intención era conseguir que el agua de la olla emplazada sobre la hornilla principal, alcanzara el punto de ebullición local, momento en el cual se realizó el mismo procedimiento descrito para la anterior fase, salvo que no se pesaron los tizones que habían quedado en la cámara de combustión. (*The Water Boiling Test*, 2013).

- Fuego moderado (*simmering*). La última fase del test consistió en mantener el agua caliente de la olla ubicada en la hornilla principal a una temperatura fluctuante por debajo del punto de ebullición local, pero sin que decayera por menos de 6 °C respecto a dicha temperatura. En el caso de la presente investigación no debía estar por debajo de 89 °C, considerando que el punto de ebullición local calculado para el sitio de la prueba fue de 95 °C. Esta última etapa del ensayo se realizó durante 45 minutos, utilizando la mínima cantidad de leña posible; la estufa se encendió nuevamente con la leña pesada y cuando el fuego se mantuvo por sí solo, se puso en funcionamiento el cronómetro y se colocó la olla que en la fase anterior alcanzó el punto de ebullición local (olla de la hornilla principal) con la termocupla inmersa para monitorear la temperatura, la cual debía mantenerse 3 °C por debajo del punto de ebullición, pero sin caer más de 6 °C por debajo de ese nivel de temperatura, dado que se invalidaría la

prueba. Una vez transcurridos los 45 minutos se registró la temperatura final del agua, se retiraron los leños que no se habían consumido y se desprendieron los tizones de los extremos, los cuales, se pesaron juntos con aquellos recogidos de la cámara de combustión. Finalmente, se pesó tanto la olla con el agua hervida como la leña. (*The Water Boiling Test*, 2013).

Los datos se registraron en el formato de campo y se sistematizaron en la hoja de cálculo que acompaña el WBT. De cada prueba se efectuaron cinco repeticiones. En la prueba se utilizó leña de la especie guamo (*Inga edulis*). El objetivo de la prueba era determinar el funcionamiento de la estufa considerando cuatro métricas fundamentales: eficiencia térmica, tiempo de ebullición, tasa de incineración y consumo específico de combustible. Una descripción más detallada del procedimiento metodológico, así como el aplicativo para establecer los resultados de la prueba, puede ser consultada en *The Water Boiling Test Protocol* v. 4.2.2 (2013).

Test de cocción controlada (CCT)

En las 30 familias escogidas para la prueba, se implementó el test de cocción controlada (CCT) versión 2.0, preparando un alimento típico de la zona, para determinar el rendimiento de la estufa. Se comparó la tarea de cocción en la estufa eficiente, respecto a su contraparte tradicional (Bailis, 2004). La prueba se realizó bajo condiciones controladas, y se introdujo un par de variaciones respecto al CCT estándar:

- Cada familia evaluada contó con su propio operador de la estufa (ama de casa de cada hogar), quien realizó la prueba tanto en el fogón tradicional como en la estufa mejorada.

Para evitar un sesgo en los resultados, cada operador de estufa fue instruido de tal forma que todos los utilizaran de la misma manera.

- Cada familia evaluada suministró su propia leña para cada una de las pruebas. En la mayoría de los hogares, la leña no procedía de la misma fuente, lo cual implicaba una mezcla heterogénea de este combustible en términos de composición y contenido de humedad.

Las modificaciones presentadas hicieron que la prueba no fuera estrictamente controlada como sugiere el protocolo, lo cual podría afectar el resultado general del parámetro que se pretende medir. No obstante, se condujo una versión semicontrolada del CCT con el propósito de establecer el rendimiento real de la estufa bajo un contexto que se asemeje más a una rutina normal de cocción tal y como lo demuestran Adkins *et al.* (2010).

Para el área de estudio, se escogió como alimento típico arroz y yuca. Esta preparación (que también es común en otras regiones de Colombia) consiste básicamente en cocinar tanto el arroz como la yuca en agua hasta alcanzar su punto apropiado de ablandamiento, momento en el cual dicho alimento es apto para consumir. Cada alimento se cocina por separado en su propia olla.

Para la cocción se utilizó el siguiente procedimiento: en una olla de 2,5 L de capacidad, se agregaron 30 g de aceite de cocina, 10 g de sal y 70 g de cebolla junca previamente picada. En la otra olla, de igual capacidad, se colocaron 500 g de yuca (previamente pelada, lavada y pesada), con 800 g de agua y 10 g de sal. El operador de la estufa (o fogón), la encendía y cuando existió la certeza de que el fuego se mantendría por sí solo, se dio por iniciada la prueba y se puso en funcionamiento el cronómetro.

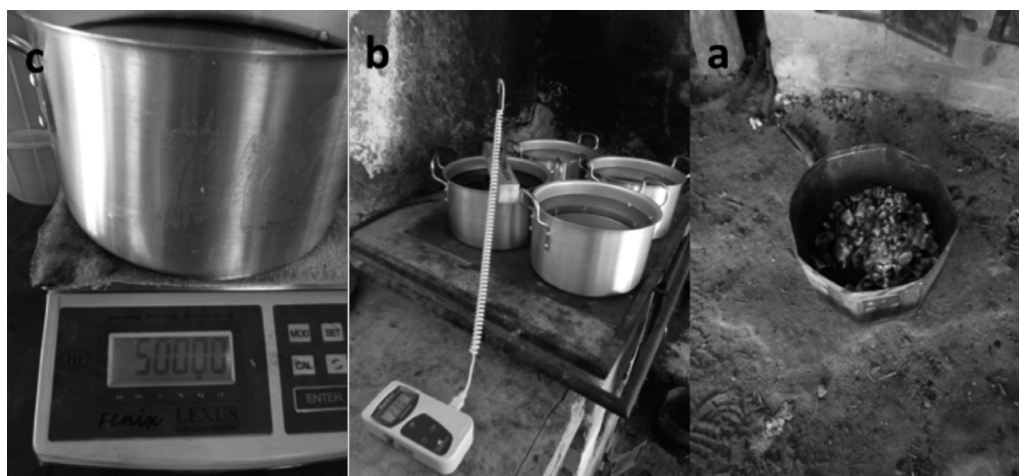


Figura 2. Test de ebullición del agua (WBT). (a) La prueba estándar (b) punto de ebullición local (c) tizones pesados en la fase arranque en frío y en la de fuego moderado.

Las ollas se colocaron al mismo tiempo. En el caso del arroz, el operador permitió que la cebolla y la sal se sofrían con el aceite caliente, por un tiempo aproximado de 3 minutos, y se procedió a agregar el agua (1.000 g). El arroz se agregó cuando el agua alcanzó su punto de ebullición y se mantuvo el fuego alto hasta lograr su completa evaporación. Cuando el arroz se encontró en estado “seco”, se colocó en fuego bajo hasta alcanzar su punto óptimo de cocimiento. Lo anterior se reconoce porque el arroz “crece”, es decir se produce el máximo hinchamiento del grano por la acción conjunta de la humedad y el calor.

Así mismo la olla con la yuca, agua y sal se colocó en fuego alto hasta que el agua alcanzó su punto de ebullición y se mantuvo en esta condición hasta el momento en que alcanzó su punto de ablandamiento. El operador de la estufa reconocía esta condición por tanteo, al aplicar presión sobre la yuca mediante el empleo de un tenedor de mesa. Es importante mencionar que en el desarrollo de la prueba en la estufa mejorada se siguió un procedimiento diferente al del fogón tradicional. En la estufa, el arroz se colocó en la hornilla principal (aquella donde la olla queda expuesta directamente al fuego), mientras que la yuca se colocó sobre una de las dos hornillas secundarias. Tan pronto como en la olla con arroz se evaporó completamente el agua, se trasladó a la hornilla terciaria en donde la menor intensidad de temperatura, le permitió lograr el punto óptimo de cocimiento sin que el arroz corriera el riesgo de quemarse. Por su parte, la olla con yuca se reubicó en la hornilla principal para acelerar su proceso de cocción.

La prueba se concluyó en el momento en que la yuca alcanzó su punto óptimo de ablandamiento. Se detuvo el cronómetro y se registró el tiempo transcurrido. Se retiraron las ollas de la estufa y se pesó en la balanza su contenido. En el caso de la olla con yuca, se pesó con el agua que aún permanecía en la misma. Se extinguió la leña que permanecía encendida y se retiró de la estufa, desprendiendo previamente los tizones de los extremos, y se colocaron en una bandeja. Se pesó la leña sobrante (incluida la parcialmente quemada). Se retiraron los tizones de la cámara de combustión y se pesaron junto con aquellos que se desprendieron de los extremos de los leños incinerados.

Se efectuaron tres repeticiones por familia, tanto en el fogón tradicional como en la estufa mejorada. Bailis (2004) ofrece una descripción pormenorizada de cada paso que debe seguirse en la ejecución del presente test.

Test de rendimiento de cocina (KPT)

En el campo se estableció el impacto real de la introducción del nuevo sistema de cocción sobre el consumo doméstico de leña, para lo cual, se evaluaron cualitativamente diferentes aspectos del funcionamiento de la nueva tecnología y se comparó cuantitativamente el consumo del nuevo sistema respecto al fogón tradicional (u otro tipo de estufa) en un contexto real de operación (Bailis, *et al.*, 2009). El evaluador no ejerció ninguna

injerencia sobre los aspectos que tienen que ver con la rutina normal de cocción, a fin de evitar situaciones artificiales.

En ausencia de datos previos que pudieran ser utilizados para definir un tamaño de muestra estadísticamente significativo, se optó por evaluar a 30 familias, lo cual se considera como la mínima cantidad recomendada para adelantar la prueba (Harvey y Tomas, 2011). Las familias no fueron escogidas aleatoriamente, sino que su participación se basó en la libre decisión de un grupo de beneficiarios que voluntariamente deseaban ser involucrados en el ejercicio de evaluación de consumo; ellos fueron informados de los requisitos y posibles complejidades a los que estarían abocados durante el periodo de duración de la prueba.

Una vez se decidió el tamaño de muestra, se eligió un enfoque pareado para el KPT, es decir las 30 familias participantes se evaluaron antes y después de la introducción de la estufa mejorada. Se definió un periodo de evaluación de 6 días con cada familia; 3 días evaluando los consumos del fogón tradicional y 3 días evaluando los consumos con la estufa mejorada. Para evaluar los consumos en cada familia se utilizó el siguiente procedimiento:

- El equipo de monitoreo definió el momento y el día en que se visitarían las familias participantes. Para evitar las alteraciones a la rutina diaria de las familias, se escogió el periodo de tiempo comprendido entre las 5 p.m. y las 7 p.m., debido a que en ese horario las familias ya se encuentran en sus hogares.
- Un día antes del inicio de la prueba, en cada familia se efectuó una visita en la que se preparó la leña para utilizarla en la jornada de cocción. Teniendo en cuenta consideraciones anteriores en experiencias de monitoreo, se concluyó que un arrume de leña de 20 kg es la medida adecuada para adelantar la prueba, de tal forma que garantice un sobrante que pueda ser pesado al final del día. El pesaje de la leña se efectuó con una báscula colgante electrónica de 50 kg de capacidad (Lexus, ref: Xenit) (figura 3a).
- Del arrume de leña se escogieron aleatoriamente cuatro palos, a los cuales se les midió la humedad con un medidor de humedad (GE-Protimeter, ref: Timbermaster). En cada leño se tomó un registro en tres puntos, cuyos resultados, posteriormente, se promediaron y consignaron en el formato de campo (figura 3b).
- Cada familia adecuó un espacio exclusivo para guardar la leña, de tal forma que no se mezclara con otro tipo de leña que no hubiese sido considerada para la prueba. Se instó a las familias para que solamente utilizaran la leña pesada para las labores de cocción del día siguiente.
- Al día siguiente, se visitó a la familia a la hora convenida y se pesó la leña sobrante, una vez se terminó de cocinar la última comida del día (figura 3c). El resultado se consignó en el formato de campo y se le preguntó al ama de casa el

número de comensales por cada comida del día, de acuerdo al género y edad, según lo establecido en la tabla 3.

Tabla 3. Categorización de comensales de acuerdo al género y la edad

Genero	Edad
Hombre	Entre 15 y 59 años
Mujer	Mayor de 14 años
Hombre	Mayor de 59 años
Niños	Menores de 14 años

- La categorización obedeció a la necesidad de determinar la fracción de adultos equivalentes por núcleo familiar, lo cual es indispensable para calcular el consumo de leña por persona.
- El procedimiento se repitió durante los tres días que duró la prueba, tanto en la primera fase (sin estufa mejorada) como en la segunda (con estufa mejorada). La prueba se efectuó de lunes a viernes y no se incluyeron los fines de semana con el objeto de evitar fuertes fluctuaciones en los consumos, como consecuencia de labores atípicas de cocción que usualmente se presentan en estos días (Bailis, *et al.*, 2009; Harvey y Tomas, 2011).

Resultados Y Discusión

Eficiencia térmica

El parámetro más importante del WBT es la eficiencia térmica que se define como la fracción de calor producida por el combustible que es transferida al cuerpo receptor (olla). Por tratarse de una medida adimensional, generalmente se expresa en valores de porcentaje. Para estufas masivas con capacidad para operar con más de dos ollas, esta métrica se calculó a partir de la siguiente ecuación:

$$h_c = \frac{[4,186 * (\sum_{j=1}^4 (P_{jci} - P_j) * (T_{jcf} - T_{jci})) + 2260 * W_{cv}]}{f_{cd} * LHV}$$

Donde: h_c = eficiencia térmica, P_{jci} = peso inicial de la olla j con agua, P_j = peso de la olla j , T_{jcf} = Temperatura final de la olla j con agua, T_{jci} = Temperatura inicial de la olla j con agua, W_{cv} = cantidad de agua evaporada, f_{cd} = cantidad de leña seca consumida y LHV = poder calorífico inferior.

En la tabla 4 se registran los resultados individuales de cada uno de los cinco ensayos del WBT realizados a la estufa FN y sobre los cuales se efectúa la discusión del resultado general de la prueba.



Figura 3. Test de rendimiento de cocina (KPT). (a) Peso inicial. (b) Registro del contenido de humedad. (c) Peso de la leña sobrante.

Entre la primera y segunda fase de monitoreo transcurrió un periodo aproximado de 45 días, tiempo en el que se construyó la estufa FN; en cada hogar participante, se facilitó el secado por un tiempo adecuado y se permitió la utilización para que el operador de la estufa (ama de casa) se familiarizara con su funcionamiento antes del inicio de la prueba.

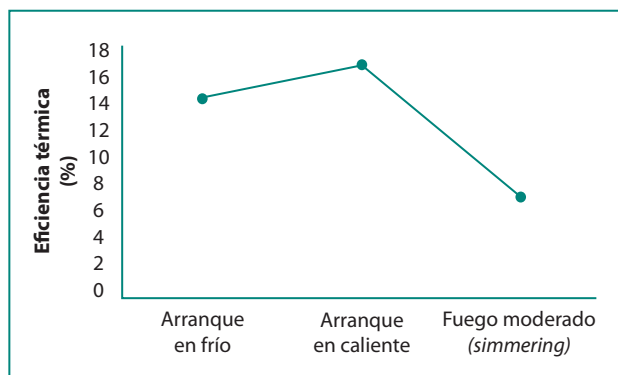
En la fase de arranque en frío, la estufa FN logró una eficiencia de $14,2 \pm 1,3\%$, mientras que en la fase de arranque en caliente la eficiencia ascendió al $16,6 \pm 1,1\%$ (figura 4). Lo anterior es consecuente con lo reportado para estufas masivas, cuyo rendimiento es bajo cuando el encendido se hace en frío debido a que la mayor masa de la estufa retiene una mayor cantidad

Tabla 4. Resultados del WBT desagregado por fases

Fase	Métrica	Unidad	T1	T2	T3	T4	T5	$\bar{X}$	σ
Arranque en frío (Cold start)	Tiempo de ebullición olla No. 1	min	42	49	57	63	51	52,4	7,98
	Tasa de incineración	g/min	49	52	42	48	50	48,2	3,76
	Eficiencia térmica	%	16	13	15	13	14	14,2	1,30
	Consumo específico de combustible	g/L	168	201	195	236	195	199	24,32
Arranque en caliente (Hot start)	Tiempo de ebullición olla No. 1	min	32	26	34	39	32	32,6	4,67
	Tasa de incineración	g/min	63	69	55	50	56	58,6	7,44
	Eficiencia térmica	%	15	17	18	16	17	16,6	1,14
	Consumo específico de combustible	g/L	164	142	145	154	143	149,6	9,34
Fuego Moderado (simmering)	Tasa de incineración	g/min	37	37	37	31	40	36,4	3,29
	Eficiencia térmica	%	8	7	7	7	7	7,2	0,45
	Consumo específico de combustible	g/L	384	373	325	313	405	360	39,38

de energía térmica reduciendo la cantidad de calor transferible al cuerpo receptor. Una vez la estufa se encuentra caliente, la transferencia térmica aumenta y mejora la eficiencia del proceso (Bailis *et al*, 2007).

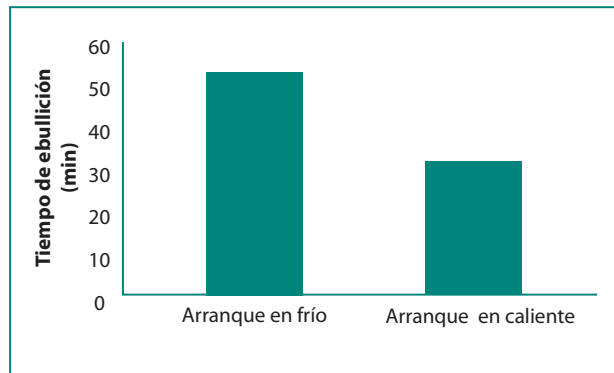
Sin embargo, la estufa tuvo un pobre desempeño en la fase de fuego moderado (*simmering*) dado que la eficiencia solo alcanzó un $7\pm0,4\%$, lo que significa que para labores de cocción de baja intensidad térmica, la estufa FN demandará una mayor cantidad de combustible para mantener una temperatura de referencia. La eficiencia térmica general de la estufa FN es del 15%, dado que se determina como el promedio logrado entre las fases de arranque en frío y arranque en caliente (DeFoort *et al*, 2009).

**Figura 4.** Eficiencia térmica en las tres fases del WBT.

Tiempo de ebullición

Se define como el tiempo que emplea la estufa en lograr que el agua de la olla principal alcance el punto de ebullición local. En la fase de arranque en frío, la estufa FN tardó en promedio $52,4\pm8$ minutos en conseguir este objetivo; mientras que en la fase de arranque en caliente el tiempo fue de $32,6\pm4,6$ minutos

en promedio (figura 5). Al efectuar la comparación de medias con la prueba *t-student*, se pudo establecer que existen diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95% entre el tiempo que tarda en alcanzar el punto de ebullición entre ambas fases. Es decir, el tiempo de cocción de una determinada labor se reduce en un 37% si la estufa se utiliza en caliente.

**Figura 5.** Comparación del tiempo de ebullición entre las fases de arranque en frío (*cold start*) y caliente (*hot start*).

Tasa de incineración

Esta métrica se define como la cantidad de combustible (leña) consumido por el fuego, por unidad de tiempo. En la fase de arranque en frío, la tasa de incineración fue de $48,2\pm3,7$ g/min en promedio cifra que aumentó a $58,6\pm7,4$ g/min en la fase de arranque en caliente (figura 6). En consecuencia, una estufa ya caliente tiende a favorecer la turbulencia de la llama, lo que de paso contribuye a aumentar la velocidad de difusión en el resto del combustible. En la fase de fuego moderado (*simmering*), la tasa de incineración disminuyó a 36,4 g/min, un resultado lógico si se tiene en cuenta que un fuego bajo tiende a comportarse de forma laminar y con ello, la velocidad de difusión es menor.

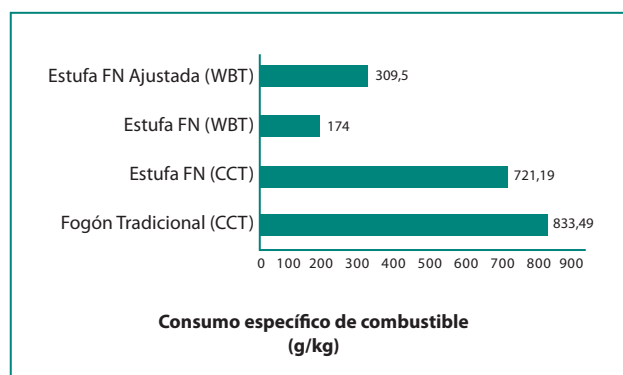


Figura 6. Tasa de incineración en las tres fases del WBT

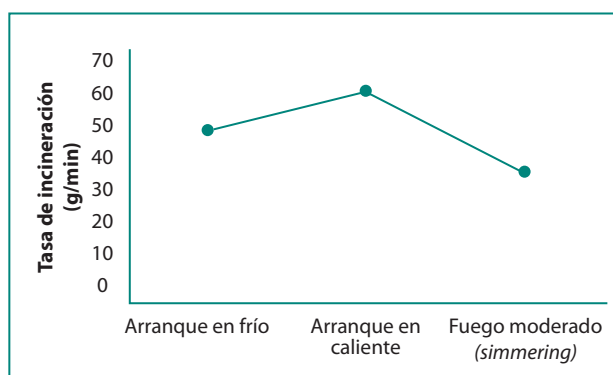


Figura 7. Comparación entre el consumo específico de combustible (SCF) logrado mediante el WBT y el CCT para la estufa FN y el fogón tradicional.

Consumo específico de combustible (SFC)

- El consumo específico de combustible en la WBT fue de $199 \pm 24,3$ g/L (equivalente a 199 g/kg) en la fase de arranque en frío y $149 \pm 9,3$ g/L (equivalente a 149 g/kg) en la fase de arranque en caliente. En la fase de fuego moderado (*simmering*), el consumo específico de combustible aumentó a $360 \pm 39,3$ g/L (figura 7). Al efectuar la comparación de medias con la prueba *t-student*, se constató que también existen diferencias estadísticamente significativas entre ambos resultados. Nuevamente, el desempeño de la estufa es mejor en un 25% cuando la labor se efectúa ya estando caliente, que iniciando completamente fría. De la misma manera que la eficiencia térmica, el SFC general se define como el promedio entre los resultados de la fase fría y caliente (174 g/L). El rendimiento en este aspecto decae en más de un 50% cuando la estufa funciona a fuego moderado, dado que el consumo se duplica respecto a las fases de alta intensidad térmica. En este sentido, se comprueba que existe una correlación que tiende a ser inversamente proporcional entre la eficiencia térmica y el consumo específico de combustible.
- En el segundo protocolo (CCT), esta métrica fue de $721,19 \pm 288$ g/kg para la estufa FN, lo que implica una diferencia de más del 360% entre las dos pruebas. Lo anterior, puede ser atribuido a las condiciones en que se ejecutó cada uno de estos protocolos. Mientras que en el WBT, la estufa fue evaluada al 100% de capacidad, es decir, las cuatro hornillas fueron ocupadas por ollas; en el CCT tan sólo se utilizaron dos hornillas dado que en la prueba solo se requerían dos ollas. Al efectuar el ajuste del WBT, considerando sólo dos hornillas, se encontró que el SFC aumenta a 309,5 g/kg con lo que la diferencia entre los dos protocolos se reduce a un 233% (figura 7).

Para determinar la eficiencia de la estufa bajo el CCT, también se midió el SFC de los fogones tradicionales utilizados por las 30 familias evaluadas, obteniéndose un valor promedio de $833,49 \pm 287$ g/kg (tabla 5). Efectuando la comparación de medias mediante la prueba *t-student*, se pudo establecer que existen diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95%. En ese sentido la estufa FN consume un 13,4% menos de leña respecto al fogón tradicional cuando se ejecuta la misma labor de cocción.

Esta cifra resulta muy semejante a la hallada por el autor en una evaluación previa, en donde fueron medidos los consumos específicos de tres prototipos de la estufa FN y comparados contra un fogón tradicional, obteniéndose una diferencia del 14,66% (Aristizabal, 2010).

No obstante, es importante mencionar que al efectuar una evaluación desagregada por núcleo familiar, se pudo constatar que en el 23% de los hogares, el fogón tradicional superó en rendimiento a la estufa FN con valores que fluctuaban entre el 3% al 29%. En contraste, el restante 77% de los hogares evaluados presentaron rendimientos en favor de la estufa FN que oscilaron entre el 3% y el 78%. Lo anterior es el reflejo de la heterogeneidad relacionada con el diseño mismo de los fogones tradicionales en cada hogar participante. Algunos fogones presentaban diseños artesanales en donde el fuego se encontraba semiconfinado, mientras que en otros quedaba completamente expuesto al aire, lo cual tiene un impacto directo en la transferencia térmica del sistema y consecuentemente, en la eficiencia del mismo.

Tabla 5. Resultados del CCT y del consumo de leña (KPT) por familia antes y después del uso de la estufa FN

FAMILIA	CCT		Consumo de leña	
	SCF fogón (g/kg)	SCF estufa FN (g/kg)	Fogón tradicional (kg/persona/día)	Estufa FN (kg/persona/día)
1	1124	1040	3,30	3,87
2	1129	1035	6,39	4,13
3	852	1082	5,58	4,67
4	1055	952	2,58	2,62
5	1450	966	3,86	3,03
6	789	864	4,83	3,22
7	741	851	3,94	4,23
8	1016	657	4,69	2,82
9	966	909	2,90	2,54
10	1066	573	6,90	3,23
11	1224	943	4,54	3,74
12	664	706	13,65	12,68
13	1121	909	3,09	4,89
14	917	655	8,63	4,15
15	714	599	2,72	3,01
16	703	605	2,88	3,48
17	844	694	3,15	4,24
18	679	847	4,09	3,32
19	785	193	2,92	2,92
20	662	577	4,30	4,28
21	630	482	1,41	1,78
22	490	335	6,66	6,14
23	562	788	7,28	6,08
24	539	706	2,43	3,82
25	457	298	2,08	2,96
26	490	484	2,31	1,75
27	773	688	7,57	2,08
28	696	657	7,63	5,93
29	979	822	3,07	2,70
30	887	719	3,87	3,18
PROMEDIO	833,49	721,19	4,64	3,92

Consumo de leña

El impacto real de un nuevo sistema de cocción en el consumo de leña doméstico, sólo puede ser evaluado a partir de la variación en los patrones de consumo de este recurso. El estudio cuantitativo del KPT adelantado en las 30 familias participantes, tanto antes como después de la introducción de la nueva estufa, no arrojó un resultado concluyente respecto a los potenciales ahorros de leña debido a la alta variabilidad de los resultados entre hogares, que se presentan en la tabla 5. Lo anterior, se debe a la alta dispersión de los datos obtenidos, los cuales fluctuaron entre valores negativos (es decir, familias donde el consumo de leña aumentó con la introducción de la nueva estufa) y positivos (donde la estufa FN demostró un menor consumo por persona respecto al fogón tradicionalmente usado). El consumo promedio en el escenario de referencia (fogón tradicional) fue de $4,64 \pm 2,5$ kg/persona/día, mientras que con el uso de la estufa FN, el consumo se redujo a $3,92 \pm 2$ kg/persona/día. Los coeficientes de variación para cada escenario (consumo de leña antes y después de la implementación de la estufa) fueron del 55% y 51% respectivamente, y coinciden con lo señalado por (Bailis *et al.*, 2009) respecto a la variabilidad de los datos.

Para evaluar la normalidad de las observaciones, se utilizó la prueba de Shapiro – Wilks y se encontró que los resultados obtenidos no respondían a una distribución normal. Bajo esas circunstancias, se recurrió a la prueba de contraste de Wilcoxon con el propósito de establecer diferencias entre las medianas calculadas para ambos tratamientos. El análisis arrojado por este método encontró diferencias estadísticamente significativas entre ambos parámetros con un nivel de confiabilidad del 95%. Lo anterior significa que para la muestra evaluada, una reducción del consumo de $0,54$ kg/persona/día refleja con mayor grado de certidumbre los ahorros potenciales de leña por el uso de la estufa FN en comparación con los sistemas de cocción tradicionales, lo que equivale a una disminución del uso de este recurso en un 11,6%.

Comparación y análisis entre protocolos

La eficiencia térmica de la estufa FN calculada a partir de la implementación del WBT, indica que este sistema de cocción tiene el potencial de transferir el 15% de la energía liberada en el proceso de combustión de la leña hacia los cuerpos receptores. Si se asume que la eficiencia térmica promedio de un fogón tradicional es de aproximadamente un 10%, entonces la estufa FN es un 33% más eficiente que el sistema tradicional. Lo anterior implica que por cada kilogramo de leña utilizado en el fogón tradicional para realizar una determinada labor de cocción, la estufa FN solo requerirá $0,67$ kg para ejecutar la misma tarea.

Sin embargo, esta diferencia en la eficiencia térmica lograda con el WBT contrasta significativamente con la diferencia del

consumo específico de combustible entre el fogón tradicional y la estufa FN arrojada por el CCT (13,4%), lo que puede ser explicado por el hecho que en el WBT se utilizaron las cuatro hornillas (100% de la capacidad instalada), mientras que en el CCT tan solo se utilizaron dos (50% de la capacidad instalada). Bajo estas circunstancias, es presumible que el concepto de “economías de escala” en el consumo de leña puede ser aplicable en la medida en que la estufa pueda ser utilizada a plena capacidad.

Por otro lado, el ahorro promedio en el consumo de leña logrado por el KPT como indicador proxy de la eficiencia de la estufa, sólo representa una tercera parte de la eficiencia térmica obtenida con el WBT. Lo anterior parece ratificar una afirmación ampliamente extendida en el ámbito de la evaluación de la eficiencia de los sistemas de cocción: no existe correlación entre la eficiencia lograda bajo condiciones controladas y aquella que puede ser medida bajo condiciones reales de campo con el KPT (Lee *et al.*, 2013; Bailis *et al.*, 2007). Notablemente, se observa una mayor afinidad entre la diferencia detectada para el consumo específico de combustible con el CCT y la diferencia entre consumos de leña derivada del KPT (13,4% y 11,6%, respectivamente). Esta similitud entre resultados puede obedecer a que el CCT ejecutado en esta investigación fue conducido de forma semicontrolada, es decir, aspectos como la operación de la estufa y el tipo de leña utilizada fueron manejados de manera más flexible que se asemejan más al KPT y que distaban de la manera controlada con la que usualmente se hace dicho test. Sin embargo, esta similitud sólo resulta anecdótica si se considera que el resultado encontrado con el KPT no fue concluyente.

Conclusiones

- La eficiencia térmica calculada para la estufa mejorada de leña FN con el test de ebullición del agua (WBT) fue del 15% promediando los resultados de las fases de arranque en frío (*cold start*) y arranque en caliente (*hot start*). En la fase de fuego moderado (*simmering*) sólo alcanzó un 7% de eficiencia. Esta eficiencia representa un mejoramiento en el uso del combustible (leña) del 33% respecto a un fogón o estufa tradicional.
- El test de cocción controlada (CCT) implementado en 30 familias indica que la eficiencia, expresada en función del consumo específico de combustible (SCF) tuvo un mejoramiento del 13,4% respecto a la estufa / fogón tradicional.
- La reducción del consumo de leña del 11,6% mediante el test de rendimiento de cocina (KPT), no resulta ser concluyente, dado que el tamaño de muestra utilizado (30 hogares) probó ser insuficiente para demostrar que los datos de consumo de leña promedio por familia eran estadísticamente significativos con un nivel de confianza del 95%. Dado el alcance de la presente investigación, no se evaluó si el efecto de “demanda reprimida” tuvo alguna incidencia en la

variabilidad de los resultados, particularmente de aquellos donde se presentaron valores negativos. Bajo este concepto, una familia que antes del uso de la estufa FN estaba limitada a utilizar una determinada cantidad de leña que probablemente no satisfacía todas sus necesidades energéticas de cocción, con la nueva estufa, podría solventar dichas necesidades a expensas del aumento del consumo de leña. Una definición más amplia de este concepto y ejemplos que ilustran con mayor detalle dicho término pueden encontrarse en Battye *et al.* (2011)

- La comparación de consumos ex-ante/ex-post podría tener un efecto perturbador en el resultado cuando se coteja un hogar en donde el número de comensales varía ostensiblemente entre días durante el periodo de duración de la prueba. Se requiere de evaluaciones adicionales para profundizar con mayor detalle en este aspecto y corroborar dicha afirmación.
- Es necesario aumentar el esfuerzo de muestreo para obtener un resultado robusto que ratifique o impugne el dato obtenido del KPT.
- No se encontró relación alguna entre la disminución teórica del consumo de leña obtenida con el WBT respecto a la reducción del consumo obtenida mediante medición directa en campo con el KPT. Tampoco parece existir relación entre el WBT y el CCT a pesar de ser pruebas realizadas bajo condiciones muy similares y en donde no debería existir una gran variabilidad en la reducción del consumo de leña, expresado en términos de eficiencia térmica o consumo específico de combustible.

Bajo este panorama debe ser objeto de debate, la conveniencia de utilizar uno u otro método para determinar los ahorros de leña que se consiguen, cuando una estufa mejorada es introducida en un ambiente real de cocción.

Referencias

Adkins, E., Tyler, E., Wang, J., Siriri, D., Modi, W. (2010). Field testing and survey evaluation of household biomass cookstoves in rural sub-Saharan Africa. *Energy for sustainable development*. 14(3), 172 – 185. ISSN 0973-0826

Aristizabal, J. (2010). Estufas mejoradas y bancos de leña: una alternativa de autoabastecimiento energético a nivel de finca para comunidades dependientes de los bosques de roble de la Cordillera Oriental. *Colombia Forestal*. 13(2), 245 – 256. ISSN 0120-0739

Bachmann, J. (2009). *Black carbon: A science/policy primer*. Arlington: Pew Center of Global Climate Change. 45 p. Recuperado de <http://www.c2es.org/docUploads/black-carbon-12-16-09.pdf>

Bailis, R. (2014). *Controlled Cooking Test* [En línea]. Version 2. Recuperado de http://ehs.sph.berkeley.edu/hem/content/CCT_Version_2.0_with_appendix5_Aug2004a.

Baillis, R, Verrueta, V., Chengappa, C., Dutta, K. (2007). Performance testing for monitoring improved biomass stove interventions: experience of the Household Energy and Health Project. *Energy for sustainable development*. 11(2), 57 – 69. ISSN 0973-0826

Bailis, R., Kirk R., y Rufus E. (2014). *Kitchen Performance Test*. Recuperado de http://ehs.sph.berkeley.edu/hem/content/KPT_Version_3.0_Jan2007a.pdf.

Battye, W., Gavalão, M., Grapeloup, M. y Yann François, Y. (2011). *Suppressed demand and the carbon markets: Does development have to become dirty before it qualifies to become clean*. Aubagne (France): GERES – CDC Climat, 48 p. Recuperado de <http://www.geres.eu/images/publications/a-report-suppressed-demand.pdf>

Bryden, M., (2005). *Design principles for wood burning cookstoves*. Cottage Grove, OR (USA): Aprovecho Research Center. 38p. Recuperado de file:///C:/Users/andrea/Downloads/principles-wbcs.pdf

Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007). *Inventario nacional de fuentes y liberaciones de dioxinas y furanos en Colombia: Línea base 2002*. Bogotá: MinAmbiente – GEF- BM – UNDP . 102 p. ISBN 978-958-97978-5-3

Departamento Nacional de Estadística. (2009). *Encuesta de Calidad de Vida 2008*. Bogotá: DANE, Anexo, cuadro 14 (archivo Excel). Recuperado de http://www.dane.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=487&Itemid=66

DeFoort, M., DeFoort, C., L'Orange y Kreutzer, C. (2014) *Stove Manufacturers Emissions & Performance Test Protocols* (EPTP) Recuperado de <http://www.cleancookstoves.org/our-work/standards-and-testing/learn-about-testing-protocols/protocols/downloads/eptp-protocol.pdf>.

Global Alliance For Clean Cookstoves. ISO (2014). *international workshop agreement: Guidance for clean cookstoves* Recuperado de. <http://www.vrac.iastate.edu/ethos/files/ethos2013/Lecture%20Hall/Saturday%20AM/Review%20of%20ISO%20International%20Workshop%20Agreement%20Cookstove%20Guidance.pdf>.

Harvey, A. y Tomas, A. (2011) *Guidelines for field performance tests of energy savings devices and kitchen performance tests (FTs – KTs)*. Oxford (UK): ClimateCare, 20 p.

Kissinger, G. Herold, M. y De Sy, V. (2012). *Drivers of deforestation and forest degradation: A synthesis report for REDD + policymakers*. Vancouver: Lexeme consulting, 46 p. Recuperado de https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/66151/Drivers_of_deforestation_and_forest_degradation.pdf

Larsen, B. (2004). *Cost of environmental damage: A socio-economic and environmental health risk assessment*. Final report. Bogotá: Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 71 p.

Lee, C.M., Chandler, C., Lazarus, M. and Johnson, F.X. (2013). *Assessing the climate impacts of cookstoves projects: Issues in emissions accounting*. Stockholm: Stockholm Environment Institute (SEI) 25 p. Recuperado de http://sei-us.org/Publications_PDF/SEI-WP-2013-01-Cookstoves-Carbon-Markets.pdf

MacCARTHY, N., Still, D., Damon Ogle, D. y Douin, T. (2008). *Assessing cookstoves performance: Field and lab studies of three rocket stoves comparing the open fire and traditional stoves in Tamil Nadu, India on measures of time to cook, fuel use, total emissions and indoor air pollution*. Cottage grove, OR (USA): Aprovecho Research Center, 18 p. Recuperado de <file:///C:/Users/andrea/Downloads/assessing-tamil-nadu.pdf>

The Water Boiling test. Version. 4.2.2. (2014). Recuperado de <http://www.aprovecho.org/lab/pubs/testing>.

World Health Organization. (2006). *Fuel for life*. Geneve: WHO. 42 p. ISBN 978-92-4-156316-1

Comportamiento de un motor diesel de 1.105 hp operado mediante el sistema *dual-fuel* con diesel - gas natural en campos petroleros

Performance of a dual-fuel natural gas/diesel engine in oil fields

Recibido 06-11-2013 Aceptado 23-04-2014

Jorge Eduardo Arango Gómez¹
Fabio Emiro Sierra Vargas²
Sergio Pérez Súa³

Resumen

Se describe el sistema *dual-fuel* para motores diesel, operando los motores de combustión interna, donde sustituyeron parte del combustible con gas natural u otro combustible gaseoso. El sistema permite un ahorro económico significativo por la diferencia de precio entre el diesel y el gas natural, la disponibilidad de gas en sitio y la disminución en la emisión de gases contaminantes de la atmósfera debido a las bondades que presenta el gas natural frente al diesel. Se presentan los resultados de las pruebas realizadas a motores, y se indica la manera de aprovechar la tecnología *dual-fuel* en la industria petrolera.

Palabras clave: *dual-fuel*; motor diesel-gas natural; ahorro diesel; sustitución diesel por gas natural.

Abstract

The dual-fuel system for diesel engines is described, which consists in substituting part of the fuel used by the internal combustion engine with natural gas or another gaseous fuel. This system allows significant savings in costs due to differences in the prices of diesel and natural gas, the on-site availability of gas, and the reduction in polluting gas emissions to the atmosphere attributable to the positive aspects of natural gas versus diesel fuel. The results of tests carried out on the dual-fuel engine are presented, and the best way to use this technology in the oil industry is indicated.

Key words: dual-fuel; natural gas/ diesel engine; diesel saving; substituting diesel with natural gas.

- 1 Colombiano. Ingeniero Mecánico, MSc, Profesor Asociado Universidad Nacional de Colombia
- 2 Colombiano. Ingeniero Mecánico, Ph.D., Profesor Titular, Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica, Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá.
- 3 Colombiano. Ingeniero Electricista y Electrónico, Msc (c) Ingeniería Mecánica Universidad Nacional de Colombia

Nomenclatura

m ²	Área en metros cuadrados
°C	Grados Celsius
°F	Grados Fahrenheit
ft ³	Pie cúbico
hp	Caballo de fuerza
gal/h	Galones por Hora
kg	Kilogramo
m ³	metro cúbico
m	masa (kg)
kVA	Kilo volta amperio
kW	Kilovatio
kWh	Kilovatio - hora
$\dot{m}$	Flujo másico (kg/h)
$\dot{m}_{DI}$	Consumo másico de diesel en modo diesel
$\dot{m}_{DD}$	Consumo másico de diesel en modo dual
Z	Nivel de sustitución (%)

Abreviaciones

BTU	British Unit Thermal
CR	Relación de compresión
CC	Centímetros cúbicos
CO	Monóxido de carbono
DI	Inyección directa
LPM	Litros por minuto
MEC	Motor encendido por compresión
NO	Óxido nitroso
ppm	Partes por millón
psia	Pie por pulgada cuadrada – valor absoluto
psig	Pie por pulgada cuadrada – valor manométrico
Tea	Sistema para quema excesos de gases en una facilidad petrolera.

Introducción

La crisis del petróleo en 1973 desatada por el embargo petrolero de la OPEP a los países que habían apoyado a Israel durante la guerra del YomKippur y que incluía a Estados Unidos y a sus aliados de Europa Occidental, generó aumento del precio, provocó un fuerte efecto inflacionista y una reducción de la actividad económica de los países afectados, lo cual terminó creando conciencia hacia el uso racional de los recursos petrolíferos y generando varias medidas y mecanismos para aumentar la eficiencia de los procesos que involucran combustibles fósiles (Lafuente y Genatios, 2005).

El cambio climático experimentado en las últimas décadas, atribuido a los gases de efecto invernadero, ha causado alteraciones trascendentes sobre todo el planeta e impulsado diversas acciones de direccionamiento de las investigaciones hacia modos más eficientes de utilización de los recursos y de nuevas tecnologías, para reducir la cantidad de contaminantes emitidos a la atmósfera. Entre las iniciativas más conocidas está el protocolo de Kioto por el cual los países firmantes se comprometieron a reducir las emisiones a los niveles registrados en 1990, de seis gases de efecto invernadero causantes del calentamiento global (dióxido de carbono (CO₂), gas metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) y tres gases industriales fluorados) en al menos un 5% para el periodo 2008 – 2012 y se establecieron mecanismos para incentivar los programas de desarrollo limpio (Naciones Unidas, 1998). En las últimas décadas ha sido necesario el establecimiento de normas más restrictivas respecto al rendimiento de ciertas máquinas térmicas y de la cantidad de contaminantes que pueden emitir (U.S. Environmental Protection Agency, 2012).

Colombia, ha desarrollado estrategias para la reducción de emisiones contaminantes y la reglamentación de la materia mediante decretos y leyes; ha incentivado la utilización de sistemas de cogeneración y la aplicación de tecnologías encaminadas a reducir las emisiones a la atmósfera.

Para los combustibles refinados como el diesel, se pasó de 5.000 ppm de azufre en 1990 a un porcentaje actual de 500 ppm y con una meta de 50 ppm que entró en vigencia para todo el país (Arango, 2009).

Motor de combustión interna y el sistema dual fuel

Los motores de combustión interna (MCI) son máquinas térmicas que producen energía mecánica en el eje a partir de la transformación de la energía química de un combustible, en un proceso de combustión dentro de sus cámaras (Salazar, 2011). Con la energía en el eje se genera electricidad o se mueven bombas y/o compresores; adicionalmente, la energía residual liberada en forma de calor se puede utilizar para cogeneración (Unidad de Planeación Minero Energética de Colombia, 2011).

El proceso de combustión es la reacción química exotérmica de una sustancia llamada combustible, con un comburente que generalmente es el oxígeno del aire. Para que se desencadene la reacción es necesario que co-existan tres elementos: Combustible (material que arde), comburente (material que hace arder) y un desencadenante (suministra la energía requerida para alcanzar la temperatura de inicio

de la combustión)(Karim, 1980). La combustión genera luminiscencia, calor y gases que dependen de la composición de los elementos que intervienen en la reacción; ellos pueden ser: CO₂, H₂O (como vapor), Hollín, NO_x, CO y otros (Karim, 1980).

Según el método de encendido, se tienen: Los MCI de encendido provocado (MEP) donde se produce la combustión de una mezcla homogénea de aire y combustible, mediante una chispa eléctrica desencadenante. Popularmente se conocen como MCI de gasolina, pero utilizan también alcoholes, otros gases combustibles y/o mezclas. Los MCI de encendido por compresión (MEC), donde la combustión se produce por auto-ignición del combustible en la medida en que es inyectado en el aire comprimido, al ir formándose una mezcla heterogénea en la cámara de combustión (Payri, 2011). Comúnmente el combustible utilizado en MEC es diesel puro, pero es posible inyectar fracciones de diesel en una mezcla comprimida de aire y gas combustible.

La relación entre la cantidad de energía obtenida en el eje de un MCI y la aportada por el combustible, se denomina eficiencia o rendimiento al freno; depende del tipo de motor, de las dimensiones de los cilindros, de la relación de compresión, de la carga, la velocidad de rotación y otros factores (Universidad Nacional de Colombia, 2009).

Los MCI, a pesar de ser máquinas con eficiencia al freno relativamente baja, han sido los equipos más utilizados para generar trabajo (Sanz, 2007). La tabla 1 presenta, el balance térmico del MCI, para motores Diesel y de gasolina

Tabla 1. Balance térmico del MCI

Contracción Volumétrica	Tipo de motor	
	Diesel (%)	Gasolina (%)
Calor equivalente al trabajo efectivo	30	25
Calor cedido al refrigerante	30	30
Calor en los gases de escape	30	35
Fricción y Radiación	10	10

Fuente: (Sanz, 2007). Adaptada

Se han reportado valores de eficiencia al freno en MCI hasta del 42%, y aunque la energía en el eje continúa siendo relativamente baja respecto a la energía suministrada por el combustible, se viene aprovechando cada vez más el considerable calor residual en procesos de cogeneración (Sanz, 2007).

La academia y los fabricantes han estudiado la utilización simultánea de diesel-gas en MEC, por las bondades que ofrece en reducción de costos de operación asociada a la diferencia de precios entre estos combustibles (Bedoya *et al.*, 2007, y Pérez, 2011), al potencial reducción de emisiones contaminantes de óxidos de nitrógeno (NO_x), material particulado (PM), monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO₂) (Papagiannakis y Hountalas, 2004).

En los MEC de capacidad media que utilizaron simultáneamente diesel-gas, mantuvo el encendido por compresión mediante la adición parcial de combustible diesel, lo que obliga al uso de diesel como combustible piloto para encender el gas (operación bi-combustible). Dichos MEC pueden acondicionarse para operación dedicada en bi-combustible o para operación *dual-fuel*: operación selectiva alternante entre bi-combustible o 100% diesel.

El sistema *dual-fuel* consistió en un equipamiento que se le adiciona a un motor diesel de serie, para permitir la operación simultánea del motor con dos combustibles: uno líquido, que puede ser diesel o biodiesel y otro gaseoso, que puede ser: Gas natural, gas licuado de petróleo (GLP), biogás u otro.

Los menores costos de funcionamiento y el uso de fuentes alternativas de combustible con funcionamiento dual de combustible del motor, han atraído a muchos investigadores a aplicar este tipo de tecnología en diferentes áreas. Los primeros experimentos con sistema de combustible dual fueron realizados por Cave en 1929 y Helmore y Sokes en 1930, en los que se indujo hidrógeno como combustible secundario en los motores diesel (Liu, 1999). Sin embargo, en ese momento, el motor con sistema *dual-fuel* no se utilizó comercialmente debido a su complejidad mecánica y a complicaciones asociadas con relaciones de compresión relativamente bajas.

Se pueden encontrar aplicaciones de sistemas duales de combustible en motores usados en el sector automotor, aplicaciones marinas, generación eléctrica y motores estacionarios, en compresores y bombas. Específicamente para la aplicación en sistemas de generación eléctrica donde los sistemas de control operan de manera particular para mantener la velocidad de rotación del MCI alrededor de un valor de referencia, se han desarrollado dos tecnologías de operación dual:

- HFO (*High Fuel Operation*): Es la operación del MCI con una cantidad relativamente alta de diesel y presenta dos modos de la operación del MCI: el modo de operación

normal, en el cual el combustible diesel es controlado para producir el trabajo en el motor; el modo de sustitución en el cual, parte del combustible diesel se reemplaza por un valor fijo de gas y se continúa regulando el diesel en la cámara. La principal ventaja técnica de este sistema es que permitió la operación del motor con solo diesel, o diesel y gas en distintas proporciones, lo cual le da gran flexibilidad al operador del equipo para trabajar el motor según la disponibilidad de gas que se tenga o la cantidad que desee ahorrar de diesel (Gettel. y Perry, 1999) .

- LFO (*Low Fuel Operation*): modo de operación en el cual el combustible requerido es controlado por gas y se adiciona una pequeña cantidad de diesel que sirve como piloto para desencadenar la combustión en la cámara. En la figura 1 se presenta el esquema del sistema *dual-fuel* en modo HFO y LFO

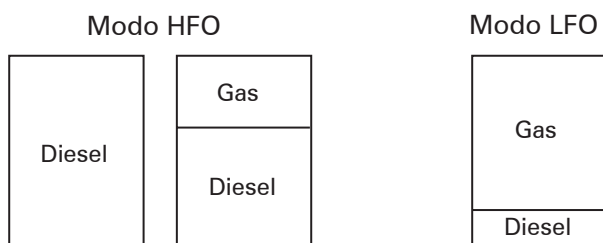


Figura 1. Esquemático del sistema *dual-fuel* en modo HFO y LFO

La figura 2 muestra el esquemático de funcionamiento del sistema *dual-fuel* en modo HFO donde, por un lado entra el gas que es regulado por presión; por otro lado entra el aire a través del filtro de aire; los dos gases se mezclan y pasan al sistema de admisión del motor.

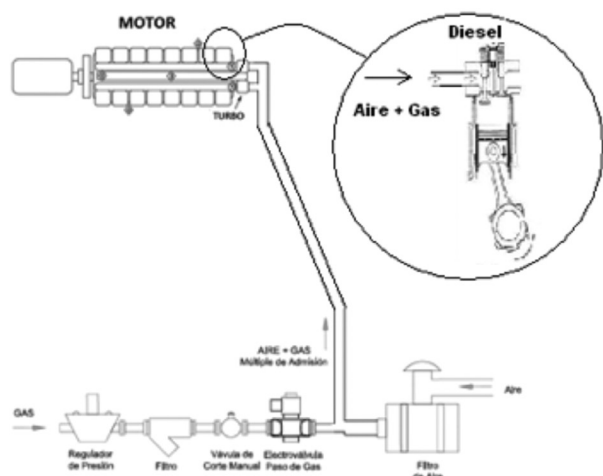


Figura 2. Esquemático del sistema *dual-fuel*

Los principales fabricantes de motores como: Caterpillar, Man, Cummins, Deutz, Wartsila y otros en asocio con empresas fabricantes de componentes como Altronic, ofrecen motores diesel que desde fábrica vienen con el sistema *dual-fuel* instalado o avalan ciertos kits que se pueden adquirir en el mercado, que al instalarlos no afectan la garantía del motor.

El sistema presenta las siguientes características:

- La instalación del sistema dual no compromete el desempeño original del motor. Un equipo de 1.000 kW de potencia, mantendrá 1.000 kW luego de la instalación, funcionando ya sea con 100% diesel o en modo dual; no hay pérdida de potencia en el motor a rangos normales de operación del sistema, solo en algunos casos se puede presentar una disminución de potencia y es debido a la composición del gas; sin embargo disminuyendo la cantidad de diesel remplazada por gas se puede recuperar la potencia perdida (Sahoo *et al.*, 2009).
- El motor no presenta inconvenientes por pérdida de estabilidad o velocidad de respuesta ante cambios de carga (Sahoo *et al.*, 2009).
- El sistema está diseñado para pasar de modo dual a modo diesel sin inconvenientes durante la transición, puede realizarse el cambio de manera gradual o inmediata (Sahoo *et al.*, 2009).
- Los parámetros de calor por radiación, eficiencia, calor de escape y calor liberado al sistema de refrigeración, permanecen prácticamente inalterables respecto a los valores originales suministrados por el fabricante del motor; por lo tanto aquellos motores de grupos electrógenos utilizados en aplicaciones de cogeneración recuperan la misma cantidad de calor funcionando en el modo dual bi-combustible como en el modo 100% diesel (Poonia *et al.*, 1999).
- La reducción de los gases contaminantes como los NOx es considerable; está en el orden del 60%, al igual que la reducción de las sustancias particuladas emanadas por el escape (se calcula también en un 60% aproximado) (Brachetti, 2010).
- Se han reportado extensiones en los intervalos de cambio de aceite y en la vida útil de los motores debido fundamentalmente al resultado de la limpia combustión que caracteriza al gas natural (Pérez, 2011 y Sahoo, 2009).

Funcionamiento del sistema dual-fuel

El sistema *dual-fuel* en esencia es un sistema híbrido que combinó las características de los motores de encendido por chispa y compresión. En un motor convertido a operación dual, se le adicionó a la recámara de combustión una mezcla de aire-combustible gaseoso, la cual se denominó combustible primario; al final de la carrera de compresión se inyectó una cantidad determinada de diesel; este combustible se denominó piloto, el cual, debido a las condiciones de alta presión y temperatura al interior del cilindro, se auto-enciende e inició el proceso de combustión de la mezcla aire-combustible primario (Liu y Karim, 1977), (Karim y Zhigang, 1992), (Hountalas y Papagiannakis, 2000). En la figura 2 se observa, cómo entra una mezcla de aire y gas a la recámara de combustión y finalmente se desencadenó la combustión con el suministro de una porción de diesel al final de la carrera de compresión. Posteriormente se generó movimiento descendente del pistón para producir trabajo.

En los sistemas *dual-fuel* se definió la tasa de sustitución de combustible diesel como, la cantidad de diesel que se reemplazó por gas (Z) así también:

$$Z = \left(\frac{\dot{m}_{DI} - \dot{m}_{DD}}{\dot{m}_{DI}} \right) * 100 \quad (1)$$

Z: Nivel de sustitución (%)

$\dot{m}_{DI}$: Consumo másico de diesel en modo diesel

$\dot{m}_{DD}$: Consumo másico de diesel en modo dual

En las investigaciones realizadas en torno a motores diesel operando simultáneamente con gas, se logró una sustitución del diesel por gas natural hasta del 85% según el tipo de motor y la aplicación (Bedoya *et al.*, 2007), (Papagiannakis y Hountalas, 2007), por encima de este nivel se presentaron problemas en inyectores, golpeteo en el motor, vibraciones anormales y alta temperatura (Papagiannakis y Hountalas, 2007), sin embargo todo depende del tipo de motor, combustibles, carga del equipo y el lugar de operación entre otros factores, por lo cual se realizaron pruebas en cada equipo para determinar los límites de operación de cada unidad.

Un motor diesel con el sistema *dual-fuel* no pudo operar con 100% de sustitución por gas debido a que la temperatura de ignición del gas natural es relativamente alta (aproximadamente 1.300 °F); esta temperatura no se generó durante la compresión del diesel en el cilindro del motor de modo que pudo encender el gas natural; durante la operación bi-combustible, una cantidad de combustible diesel se requirió para actuar como la fuente de ignición de la mezcla aire-gas (Sahoo *et al.*, 2009).

Investigaciones particulares de Altronic Inc, uno de los proveedores de kits *dual-fuel*, estableció que por cada galón de diesel #2 que se reemplazó en un motor se requieren aproximadamente 140 SCF (*Standard Cubic Feet*) de Gas Natural (Altronic Inc).

Desventajas del sistema dual-fuel

Las investigaciones indican que los problemas que se pueden presentar con el uso del sistema *dual-fuel* son:

- El principal problema de operación del motor en modo dual de combustible es que a baja carga la eficiencia del sistema disminuyó, es decir que el nivel de sustitución se bajó en comparación con otros puntos de mayor carga en el equipo, por lo cual el sistema fue más eficiente (mayor sustitución de diesel por gas) a medida que se aumentó la potencia exigida al motor (Karim y Burn, 1980, Xianhua y Philip, 1986).
- Las emisiones de hidrocarburos no quemados y monóxido de carbono, cuando el equipo operó con baja carga pueden ser más altos en comparación con el funcionamiento con solo diesel (Karim y Burn, 1980, Xianhua y Philip, 1986).
- Según el tipo de gas y su composición se pueden presentar problemas con los componentes del motor en contacto con este, los principales problemas se han reportado por gas con H₂S, lo cual hace que se requiera disminuir el periodo para *overhaul* del equipo. Otro problema reportado ha sido la presencia de condensados en el gas de pozo por lo que es deseable un *scrubber* en el circuito de gas (Pérez, 2011).

En general, siempre se recomendó operar el motor con el sistema *dual-fuel* con carga mayor al 50% del valor nominal, sin que esto excluya que se puede operar con régimen de carga menor, si para el operador no es relevante el tema de cantidad de gas a utilizarse o las emisiones, además de un buen filtro de gas y/o *scrubber* dependiendo de la composición del gas.

Investigación realizada a motores operando con sistema dual-fuel

Se han realizado investigaciones en donde se mezcló diesel o biodiesel (Kleinová *et al.*, 2011) con combustibles gaseosos como: gas natural, biogás, GLP, hidrógeno (Korakianitis *et al.*, 2011), acetileno (Lakshmanan y Nagarajan, 2011), según los tipos de combustibles utilizados en el motor y sus composiciones se obtuvo diferentes tasas de sustitución de combustible líquido por gaseoso y diferentes niveles de

emisiones que en la mayoría de los casos son menores que las de la operación del equipo con solo diesel.

En el 2004, en India, Uma, Kandpal y Kishore investigaron sobre un grupo electrógeno con motor diesel de 50 kW de potencia nominal, operando con sistema *dual-fuel* a gas natural, en la tabla 2 se presenta el consumo de combustible y el consumo de energía a diferentes cargas.

Tabla 2. Consumos de combustible y específicos de energía a diferentes cargas

Carga (kW)	Consumo de combustible				Consumo específico de energía	
	Modo Diesel		Modo Dual-Fuel		Tasa de reemplazo de diesel (%)	Modo Diesel
	Diesel kg/h	Diesel kg/h	Gas Natural Nm ³ /h	Gas Natural Nm ³ /h		Modo Dual-Fuel
10	5,3	1,9	57	64	22,8	34
20	7,2	1,3	66	82	15,5	18
30	9,8	1,5	81	85	14	15
40	12,2	3,7	112	70	13,1	16

Fuente. Uma *et al.*, 2004)

Aplicando la ecuación (1) se identificó una sustitución máxima del 85% de diesel por gas a una carga de 30 kW, lo que corresponde al 60% de la carga nominal del equipo; sin embargo, se logró operar el equipo a una carga de 40 kW que corresponde al 80% de la carga nominal con una tasa de reemplazo del diesel del 70%.

Se identificó también que el consumo específico de energía se incrementó a medida que se reducía la carga del equipo, por lo cual se recomendó operar los equipos siempre cerca de su carga nominal; adicionalmente, se observó un consumo específico de energía mayor cuando se opera con sistema *dual-fuel*, lo cual puede obedecer al poder calorífico del gas y la velocidad de la llama (Uma *et al.*, 2004; Parikh 1989; Sridhar *et al.*, 2001). Finalmente, en operación dual respecto a la operación con solo diesel, se incrementó el CO, CO₂ y CH₄ y disminuyeron el NO_x y PM (tabla 3).

Estudios realizados por la Technical University of Kaiserslautern publicados en SBS, Bosch y Clean Air Power, muestran que el potencial de reducción de emisiones en un motor diesel en el cual se ha sustituido el 50% de combustible diesel por gas natural es:

- Reducción de CO: 95%
- Reducción de HC: 66%
- Reducción de PM: 42%
- Reducción de NO_x: 35%

Tabla 3. Potencial de emisiones a diferentes cargas

Parametro	Carga (kW)					
	10		20		30	
	Disel	Dual-Fuel	Disel	Dual-Fuel	Disel	Dual-Fuel
CO (ppm)	181	635	207	640	284	734
CO ₂ (%)	3,1	6,2	4,2	7,1	5,7	9,2
HC (ppm)	109	119	132	141	180	182
CH ₄ (ppm)	7	18	8,4	24	10,2	21
SO ₂ (ppm)	4,6	1,1	5,4	1,2	6,8	1,5
NO _x (ppm)	172	93	230	140	279	170
PM (mg/m ³)	22	18	26	24	29	24

Fuente. Uma *et al.*, 2004)

Los resultados coinciden en reducción con los obtenidos por (Bedoya 2007; Papagiannaki 2007); a su vez contradicen los obtenidos por Uma *et al.* (2004), por lo cual se infiere que la reducción de emisiones dependió de factores como el tipo de gas, el tipo de motor y la carga; por tanto cada experimento arrojó resultados específicos para el tipo de experimento.

Al utilizar gas natural se obtuvo una reducción de las emisiones de gases a la atmósfera, dependiendo del tipo de combustible gaseoso; cuando se utilizó Biogás como combustible primario, se presentaron aumentos en las emisiones de ciertos contaminantes como: el monóxido de carbono (CO), hidrocarburos sin quemar (THC) y metano (CH₄) (Bedoya, 2007; Silva *et al.*, 2012).

La composición química del biogás, lo convierte en un combustible relativamente pobre que contiene un volumen apreciable de CO₂ y contaminantes como material particulado (Siloxanos), humedad y ácido sulfhídrico (H₂S), por lo cual se hizo necesario, al menos, un pre-tratamiento de limpieza y secado para el biogás, una selección muy cuidadosa del motor (Silva *et al.*, 2012).

Aplicación del "dual-fuel" en campos petroleros

El consumo de combustible diesel en los equipos de producción que utilizan este combustible en sus motores de combustión interna, afectó en gran medida el costo de la operación debido a su precio, transporte y almacenaje.

El manejo del combustible diesel en las estaciones de producción no es el más adecuado, sumado a las dificultades de transporte que en muchas veces se tiene por la localización geográfica de las facilidades de producción, hacen que no se cuente con un combustible limpio, o que en oportunidades se sufra por desabastecimiento del mismo, lo cual dificulta o restringe las operaciones de producción de hidrocarburos.

La implementación del sistema *dual-fuel* en los motores diesel permitió ahorros económicos debido a las diferencias de precio entre el diesel y el gas natural o por la disponibilidad que se tenga de gas, así como, también por una disminución en la emisión de gases contaminantes de la atmósfera debido a las bondades que presenta el gas natural frente al diesel. La tecnología *dual-fuel* le permitió a las compañías petroleras aprovechar el gas natural que se generó en la Tea, para ser utilizado en los motores usados en las facilidades de producción, con lo cual se obtuvo ahorros económicos en logística y almacenamiento de combustible, principalmente en campos con poca producción de gas natural o en fase de pruebas de producción.

La implementación óptima del sistema *dual-fuel* dependió de diversos factores entre los que se incluyen: tipo de motor, la aplicación del equipo, el tipo de gas usado y las condiciones de operación; por lo cual realizar un estudio detallado que permita identificar los aspectos relevantes que involucren toda la correcta implementación del sistema y pruebas para obtener el mejor punto de operación, llevará a buen término con resultados óptimos para la empresa la inversión realizada y los beneficios que se obtengan de esta tecnología. La figura 3 ilustra un típico de instalación de un sistema *dual-fuel* en un generador diesel:

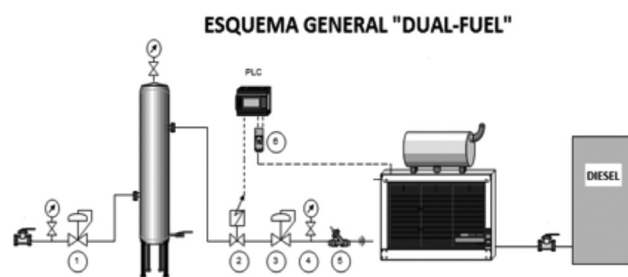


Figura 3. Esquemático *dual-fuel* usando gas de pozo y Scrubber en un motor diesel.

La aplicación del sistema en el sector de hidrocarburos se puede dar en bombeo, compresores, bombas o generación eléctrica; si se utiliza el gas de pozo siempre es recomendable disponer de filtros de gas y la instalación de *scrubber* de modo que se pueda entregar al motor un gas con la mejor calidad posible.

Los costos de implementación del sistema *dual-fuel* son bajos en comparación con los ahorros que se obtienen; el precio aumentó de acuerdo con los elementos de medida, control o seguridad que se le adicionaron a la instalación; pero en el mercado se pueden obtener kits de instalación básicos desde los US \$3.000. Sin embargo, siempre es recomendable una buena asesoría técnica para elegir el producto que más se adecue a la disponibilidad energética y necesidades de cada empresa.

Montaje de la prueba

Con el objetivo de evaluar el desempeño mecánico y ambiental del grupo electrógeno diesel con el sistema "*dual-fuel*", se diseñaron una serie de pruebas a distintos niveles de sustitución y cargas del equipo, con el fin de determinar las acciones a seguir para lograr mejorar el nivel de sustitución para el equipo en prueba.

Datos del equipo en Prueba

La figura 4 presenta el equipo utilizado, las características del equipo son:

Ítem	Especificación
Modelo	C27Genset
Marca grupo electrógeno	Caterpillar
Motor	Caterpillar C27
Tipo	4 tiempos
Cilindros	12
Velocidad	1.800 rpm
Potencia	1.105 hp
Turbo cargado	si
Tiempo de inyección	25 - 45 B.T.D.C
Tensión generación	480 Voltios
Potencia	906 kVA/ 725 kW
Factor de potencia	0.8



Figura 4. Fotografía del grupo electrógeno utilizado

La figura 5 presenta el Esquemático del montaje e Instrumentación de las pruebas

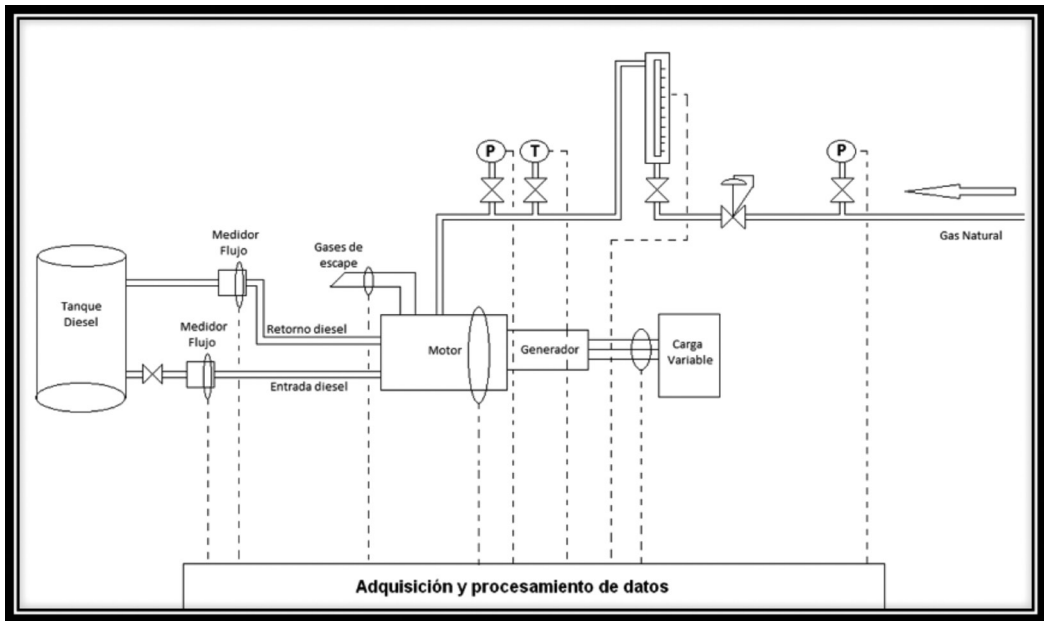


Figura 5. Esquemático del montaje e instrumentación de las pruebas

Descripción del gas natural y del diesel a utilizar en la prueba

La tabla 4 presenta las características del combustible diesel utilizado en Colombia.

Tabla 4. Características del combustible diesel en Colombia

Características	Unidades	Métodos	Valor	640	284	734
Índice de Cetano		ASTM D-4737	56 - 58	7,1	5,7	9,2
Viscosidad a 40 °C	109 mm ² /s	119	132	141	180	182
		ASTM D 445	1,9	24	10,2	21
Lubricidad	Micrómetros	ASTM D 6079		1,2	6,8	1,5
Azufre	Ppm		30-50	140	279	170
Densidad	(kg/m ³)		825-835	24	29	24
API			38-40			

Fuente: Instituto Colombiano del Petróleo

La cromatografía del gas de pozo utilizado se presenta en la tabla 5.

Tabla 5. Reporte de composición del gas.

Condiciones de la muestra		120.0 psig @ 87.0 °F	
Componente		Molar %	Peso %
H ₂	Hidrogeno	0,00	0,00
H ₂ S	Hidrogeno Sulfhídrico	0,00	0,00
CO ₂	Dióxido de Carbono	5,18	10,06
N ₂	Nitrógeno	0,59	0,73
C ₁	Metano	73,47	52,05
C ₂	Etano	10,93	14,51
C ₃	Propano	6,20	12,06
iC ₄	i-Butano	0,97	2,49
nC ₄	n-Butano	1,49	3,81
iC ₅	i-Pentano	0,29	0,93
nC ₅	n-Pentano	0,27	0,85
C ₆	Hexanos	0,29	1,09
C ₇	Heptanos	0,18	0,70
C ₈	Octanos	0,11	0,50
C ₉	Nonanos	0,02	0,15
C ₁₀	Decanos	0,01	0,05
C ₁₁	Undecanos	0,00	0,02
Total :			
Propiedades calculadas del gas		100,00	100,00
Gravedades pecifica gas		0,7832	(Air=1 @ 14.73 psia& 60°F)
Poder calorífico real		1227,6	BTU.ft ³ @ 14.65psia, 60°F
Poder calorífico neto		1114,1	BTU.ft ³ @ 14.65psia, 60°F

Fuente: Core Laboratories Colombia

Medición de carga eléctrica

La potencia entregada por el equipo se midió con un analizador de calidad de energía marca AEMC, modelo 3945-B, se presenta en la tabla 6.

Tabla 6. Datos técnicos del analizador AEMC 3945-B

Medida	Rango	Resolución	Precisión
Voltaje	15 - 480 V	0,1V	0,5% ± 2 cts
Frecuencia	40 - 69 Hz	0,01 Hz	± 0,01 Hz
Corriente	0-1200 A	0,1 A	± (0,5% + 2 cts)
Potencia Real	0 - 9999 kW	4 dígitos	± 1%
Potencia Reactiva	0 - 9999 kVAR	4 dígitos	± 1%
Potencia Aparente	0 - 9999 kVA	4 dígitos	± 1%
Factor de potencia	"-1 ,00 a 1,00"	0,001	± 1,5%
Energía Eléctrica	0 - 9999 mWh	4 dígitos	± 1%

Medición de gases de escape del motor

Se realizaron mediciones de gases de escape del motor, se utilizó el analizador de gases de combustión y emisiones, modelo E4400-C, marca E Instruments, las características se presentan en la tabla 7:

Tabla 7. Características técnicas del analizador de gases de combustión

Parámetro	Sensor	Rango	Resolución	Precisión
O ₂	Electroquímico	0 - 25%	0.1%	±0.2% vol
CO	Electroquímico	0 - 8000 ppm	1 ppm	±10 ppm
CO ₂	Calculado	0 - 99.9%	0.1%	
NO	Electroquímico	0 - 5000 ppm	1 ppm	±5 ppm
NOx	Calculado	0 - 5000 ppm	1 ppm	
CxHy	Pellistor	0 - 5 %	0.01 %	±5 %
Exceso de aire	Calculado	0 - 850 %	1%	
Eficiencia	Calculado	0 - 100 %	0.1%	
Temperatura	Tc K	(- 20 a 1250 °C)	0.1 °C	

Medición de consumo de combustible diesel

Para la medición del flujo y consumo de combustible diesel se utilizó contadores marca GW modelo TM-10 que permitió medir flujo, volumen y tiempo, se instalaron en la línea de alimentación del motor y la línea de retorno. En la tabla 8 se presentan las características técnicas del contador.

Tabla 8. Características técnicas del contador de flujo

Presión máxima servicio	300 psi
Precisión	1,50%
Rango flujo	18.9 a 190 LPM
Rango temperatura	-40 °C a +121 °C

Medición presión y temperatura

La medición de los parámetros de temperatura y presión se realizó con instrumentos marca WIKA. Las características técnicas del manómetro WIKA, se presentan en las tablas 9 y 10.

Tabla 9. Características técnicas del manómetro WIKA

Equipo	Marca	WIKI
	Modelo	233 -34
	Parámetro	Presión
	Última Calibración	Julio 2013
Presión máxima servicio		10 psi
Precisión		0,50%
Rango presión		"- 20 °C a +65 °C"

Tabla 10. Características técnicas del termómetro WIKA

Equipo	Marca	WIKI
	Modelo	A50
	Parámetro	Temperatura
	Última Calibración	Julio 2013
Temperatura máxima servicio		75 °C
Precisión		clase 2
Rango temperatura		"- 20 °C to +60 °C"

Medición del consumo de gas natural

El consumo de gas natural se midió con un Rotámetro marca WIKA. En la tabla 11 se presentan las características técnicas.

Tabla 11. Características técnicas del rotámetro WIKA

Equipo	Marca	WIKI
	Modelo	LZB-4
	Parámetro	Flujo
	Última Calibración	Julio 2013
Presión máxima servicio		100 psi
Precisión		0,5%
Rango	100 -500	ft ³ /h
	500 -1000	ft ³ /h
	1.000 - 5.000	ft ³ /h

Resultados

El equipo se puso a prueba utilizando una carga variable de tipo eléctrica, constituida por un banco de resistencias variable para lograr los niveles requeridos de carga del equipo. Los datos se consignaron en las tablas 12 y 13; se tomaron registros para diferentes niveles de sustitución obtenidos mediante el cambio de la presión del gas de admisión para el modo “dual de combustible”. En la figura 6 se presenta el registro de los datos del analizador.

Tabla 12. Registro de consumo de combustibles

% Carga (kW)	Consumo de Combustible				
	Modo Diesel	Modo dual -fuel			Tasa de reemplazo de Diesel
	Diesel	Diesel	Gas Natural		
	(gal/h)	(gal/h)	ft³/h	Presión (psi)	(%)
25%	11,9	10,5	221	1	11,8
		10,4	236	2	12,6
		10,2	268	3	14,3
		10,1	284	4	15,1
		9,5	378	5	20,2
		9,8	331	6	17,6
50%	21,8	19,1	454	1	12,4
		18,9	488	2	13,3
		18,5	555	3	15,1
		18	639	4	17,4
		17,2	774	5	21,1
		17,4	740	6	20,2
75%	34,1	30,2	593	1	11,4
		29,9	639	2	12,3
		29,1	761	3	14,7
		28,7	821	4	15,8
		28,3	882	5	17,0
		27	1080	6	20,8
100%	49,7	43,8	821	1	11,9
		43,3	891	2	12,9
		42,3	1030	3	14,9
		41,8	1099	4	15,9
		40,9	1225	5	17,7
		39,2	1461	6	21,1

Tabla 13. Registro de datos analizador de gases de combustión

Parámetro	Carga del equipo							
	25%		50%		75%		10%	
	Diesel	Dual	Diesel	Dual	Diesel	Dual	Diesel	Dual
CO (ppm)	227	520	255	601	272	670	298	699
CO ₂ (%)	3,9	6,1	4,3	7,9	5	8,9	5,6	9,4
NOx (ppm)	250	120	310	135	390	167	402	198
HC (ppm)	120	129	145	165	181	189	192	193

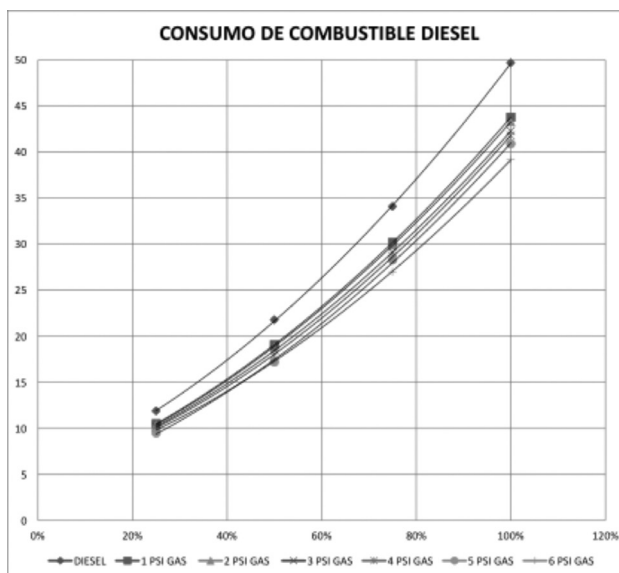


Figura 6. Registro de datos analizador

En la gráfica se observa cómo a medida que aumenta la carga, los niveles de sustitución de diesel van mejorando.

Conclusiones

El sistema *dual-fuel* es una herramienta útil para ser utilizada en motores diesel cuando se tiene disponibilidad de gas, con lo cual se pueden obtener ahorros importantes y reducir las emisiones en la mayoría de los casos.

Los resultados obtenidos en las pruebas del grupo electrógeno fueron inferiores a los niveles de sustitución obtenidos por investigadores en el laboratorio; la tasa máxima de sustitución fue del 21% mientras que en publicaciones como la de Uma *et al.* (2004) se logró hasta un 85% de sustitución del diesel por gas natural. El máximo nivel de sustitución cambió para baja carga y alta carga del equipo; se observó que era necesario incrementar la presión del gas de entrada a medida que elevaba la carga, para lograr mejores tasas de sustitución.

Los resultados de la medición de emisiones obtenidas fueron similares a las de Uma *et al.* (2004), donde se observó

una disminución de los NO_x e incremento del CO y CO₂ con la operación en modo dual. Es necesario resaltar que los resultados de las distintas investigaciones publicadas difieren entre ellas, y esto obedece a la composición del gas natural usado en cada experimento y a las condiciones del equipo entre otras variables.

Con la información obtenida en una segunda fase se pretende analizar las variables de relación de compresión y tiempo de inyección para mejorar la tasa de sustitución, y lograr niveles alcanzados por otros investigadores; todo esto cambiando el reglaje del motor.

Referencias

- AbdAlla, G.H.; Soliman, H.A.; Badr, O.A.; M.F. AbdRabbo, M.F. (2000). Effect of pilot fuel quantity on the performance of a dual fuel engine. *Energy Conversion and Management*, Vol. 41, 559-572.
- AltronicInc, *GTI-Bifuel*. Recuperado de www.gti-altronic.com, brochure of products.
- Arango, Humberto Jorge. (2009). Calidad de los combustibles en Colombia. *Revista Ingenieria Universidad de los Andes*, ISSN 0121-4993.
- Bedoya Caro Iván Darío; Arrieta, Andrés Amell; Cadavid, Francisco Javier; Pareja, Jhon Alexander. (2007). Efecto del Grado de Carga y la Cantidad del Combustible Piloto en el Comportamiento Mecánico Ambiental de un Motor Dual Diesel-Biogás para Generación de Electricidad. *Rev.fac.ing. univ. Antioquia*, (42), 79-93
- Brachetti, Jürgen. (2010). *Dual-Fuel The best Fuel in the most efficient engine*, NGVA Europe position paper, mayo 2010.
- Hountalas DT, Papagiannakis RG. (2000). Development of a simulation model for direct injection dual fuel diesel-natural gas engines, *SAE Trans*. 2000(1), 286.
- Karim Ghazi, A. (1980). A review of combustion processes in the dual fuel engine -The gas diesel engine. *Progress in Energy and Combustion Science*. Vol. 6, 277-285.
- Karim, G.A.; Zhigang, L. (1992). *A Predictive Model for Knock in Dual Fuel Engines*, SAE Paper 921550,
- Karim G.A; Burn K.S. (1980). *The combustion of gaseous fuels in a dual fuel engine of the compression ignition type with particular reference to cold intake temperature conditions*. SAE 800263.
- Kleinová, A.; Vailing, I; Lábaj, J.; Mikulec, J. Cvengroš, J. (2011). Vegetable oils and animal fats as alternative fuels for diesel engines with dual fuel operation. *Fuel Processing Technology*, 92(10), 1980-1986.
- Korakianitis, T; Namasivayam, A.M., Crookes, R.J. (2011). Diesel and rapeseed methyl ester (RME) pilot fuels for hydrogen and natural gas dual-fuel combustion in compression-ignition engines *Fuel*, 90(7), 2384-2395.
- Lafuente, M.; Genatios, C. (2005). *Crisis Petrolera y Cambio tecnológico*, Red Voltaire.
- Lakshmanan, T.; Nagarajan, G. (2010). Experimental investigation on dual fuel operation of acetylene in a DI diesel engine. *Fuel Processing Technology*. 91(5), 496-503.
- Liu, Z. (1998). *An examination of the combustion characteristics of compression ignition engines fuelled with gaseous fuels*. Ph.D. thesis, Department of Mechanical Engineering, University of Calgary, Canada.
- Liu, Z.; Karim, G.A. (1977). Simulation of combustion processes in gas-fuelled diesel engines. *Proc. Inst. Mech. Engrs.*, 211 (A); 159-169.
- Naciones Unidas. (1998). *Protocolo de Kyoto de la convencion marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático, fccc/informal/83*. Recuperado de http://es.wikipedia.org/wiki/Protocolo_de_Kioto_sobre_el_cambio_climatico.
- Papagiannakis, R. G.; Hountalas D.T. (2004). Combustion and exhaust emission characteristics of a dual fuel compression ignition engine operated with pilot diesel fuel and natural gas. *Energy Conversion and Management*, Vol. 45, 2971-2987.
- Parikh, P.P.; Bhave, A.G.; Kapse, D.V.; Shashikantha. (1989). *Study of thermal and emission performance of small gasifier-dual-fuel engine systems*. Biomass. Elsevier Science Publishers Ltd; .p.75 -97.
- Payri F, Desantes J. (2011). *Motores de combustión interna alternativos*. Editorial Universitat politécnica de valencia.
- Pérez Súa, Sergio. (2011). *Factibilidad de Implementar un Sistema "Bi-Fuel" para Reducir el Consumo de Combustible Diesel en Los Motores Utilizados en las Facilidades de Producción*. Universidad Industrial de Santander UIS, Escuela de Petróleos.

Poonia, P.; Ramesh, A.; Gaur, R. R. (1999). *Experimental Investigation of the Factors Affecting the Performance of a LPG Diesel Dual Fuel Engine*. SAE Paper N.º 1999-01-1123.

Sahoo,B.B.; Sahoo, N.; U.K. Saha, U.K. (2009). of engine parameters and type of gaseous fuel on the performance of dual-fuel gas diesel engines—A critical review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13, 1151–1184.

Salazar Rosas, Jesus Ricardo. (2011). *Motor de Combustión Interna*, Apuntes clase, Mexico,

Sanz, S. (2007). *Motores*, Editex S.A., ISBN 9788497714792.

Sridhar G.; Paul P.J.(2001). MukundaHS.Biomass derived producer gas as a reciprocating engine fuel—an experimental analysis. *Biomass and Bioenergy*, 21(1):61–72.

Silva Leal Vladimir; Arango Gómez, Jorge Eduardo; Sierra Vargas Fabio Emiro. (2012). *Exploratory Analysis of Research on Internal Combustion Engines Working with Biogas*. Grupo de Investigación en Mecanismos de Desarrollo Limpio y Gestión Energética. Universidad Nacional de Colombia.

Uma, R.; Kandpal, T.C.; Kishore, V.V.N. (2004). Emission characteristics of an electricity generation system in diesel alone and dual fuel modes. *Biomass and Bioenergy* 27, 195 – 203.

Unidad de planeación minero energética de Colombia. (2010). COGENERACION. Recuperado de web www.upme.gov.co, 2010.

Universidad Nacional de Colombia. (2009). *Curso virtual de instalaciones y máquinas térmicas*. Recuperado de www.virtual.unal.edu.co.

U.S. Enviromental Protection Agency. (2012). *Emission Standards Reference Guide*. Code of Federal Regulations (CFR).

Xianhua D, Philip H. (1986). *Emissions and fuel economy of a prechamber diesel engine with natural gas duel fueling*. SAE 860069.

Planeación estratégica del grupo de investigación BIOMATIC para el fomento de la innovación en el Centro de Diseño y Manufactura del Cuero del SENA¹

Strategic planning of the BIOMATIC research group for promoting innovation at SENA's Leather Design and Manufacturing Center

Recibido 18-03-2014 Aceptado 07-05-2014

Sandra Milena Velásquez R.²
Sebastián Valderrama Mejía³
Jorge Castro Corrales⁴

Resumen

Para el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), la innovación es una de sus principales estrategias para consolidar el sector empresarial y social en Colombia. De manera coherente con ese lineamiento, este trabajo analizó la formulación estratégica del grupo de investigación BIOMATIC y su articulación con el plan de acción del Centro de Diseño y Manufactura del Cuero del SENA. Partiendo de un diagnóstico de las actividades de formación y fortalecimiento del sector productivo que desarrolla el Centro, se identificaron las necesidades de innovación e investigación en la industria del sector cuero, calzado y marroquinería, al igual que las de industrias asociadas como lo son las del caucho y del plástico. Reconociendo la importancia estratégica de la construcción del conocimiento como fuente de innovación radical, se presenta la estrategia de gestión del conocimiento del grupo de investigación BIOMATIC y su articulación con el plan de acción del Centro para fomentar la cultura innovadora y de desarrollo tecnológico en las actividades académicas con los aprendices, y la relación con el sector empresarial.

Palabras clave: Innovación; desarrollo tecnológico; planeación estratégica; investigación.

Abstract

For Colombia's National Training Service (SENA, its Spanish acronym), innovation is a key strategy for consolidating the country's entrepreneurial and social sectors. Coherent with this line of thinking, the strategic creation of the BIOMATIC research group as well as its involvement in the action plan of SENA's Leather Design and Manufacturing Center were analyzed. The impact of innovation on the Center's training and capacity-building programs aimed at the production sector was initially analyzed and then used as basis to identify the needs for innovation and research for the leather and footwear industry, as well as for associated industries such as the rubber and plastics industries. Because of the strategic importance of knowledge building as source of radical innovation, BIOMATIC's knowledge management strategy is presented, also indicating how it relates to the Center's action plan to promote a culture of innovation and technological development not only within the academic activities held with apprentices, but also in its relationship with the entrepreneurial sector.

Key words: Innovation; technological development; strategic planning; research

- 1 Informe final de estudio ejecutado y financiado por el Centro de Diseño y Manufactura del Cuero del SENA, en Itagüí-Colombia, entre octubre del 2013 y febrero del 2014.
- 2 Colombiana, Magíster en Ingeniería, Especialista en Gerencia. Líder de Innovación y Desarrollo Tecnológico del Centro de Diseño y Manufactura del Cuero del SENA Itagüí, Antioquia. Bioingeniera, Grupo BIOMATIC
- 3 Colombiano, Magíster en Ciencia y Tecnología, Instructor Investigador del Centro de Diseño y Manufactura del Cuero del SENA Itagüí, Antioquia. Biongeniero, Grupo BIOMATIC.
- 4 Colombiano, Magíster en Ingeniería, Especialista en Alta Gerencia con Énfasis en Calidad. Subdirector del Centro de Diseño y Manufactura del Cuero del SENA Itagüí, Antioquia. Ingeniero Industrial, Grupo BIOMATIC.

Introducción

El interés en la innovación y el desarrollo tecnológico se ha convertido en una tendencia mundial, demostrándose que existe relación directa entre la productividad y la innovación en países latinoamericanos, incluyendo a Colombia (Crespi y Zuñiga, 2012), que desde el año 2000 definió la política de ciencia, tecnología e innovación como un eje prioritario en su plan de desarrollo (Dirección Nacional de Planeación, 2000). El Servicio Nacional de Aprendizaje–SENA, entidad adscrita al Ministerio de Trabajo orientada a la formación profesional integral y al uso y apropiación de tecnología e innovación al servicio de personas y empresas colombianas, ha asumido un papel significativo en esa estrategia (Lugo y López, 2013). Para explicar la manera como la institución realizó la gestión de la innovación y el desarrollo tecnológico en el país, se unificaron los criterios sobre lo que significan esos términos.

El concepto de innovación se incorporó al lenguaje de diversas disciplinas, alcanzando significados que en ocasiones presentan confusiones. Su origen etimológico se asocia al latín *innovare*, que quiere decir cambiar o alterar las cosas introduciendo novedades. En este trabajo, la novedad surgió de la interacción entre el conocimiento científico y el tecnológico, que no necesariamente es sencillo (Medina y Espinosa, 1994); su complejidad generó dos grandes modelos:

- **Modelo lineal**, conocido como *technology-push*, la investigación científica—abarcó desde la ciencia básica hasta la ciencia aplicada—conduce a una innovación, bajo un esfuerzo de ingeniería y desarrollo hasta llegar a ser un producto comercial, como se esquematiza en la Figura 1. A este modelo responden, en gran parte, los esfuerzos de investigación que han realizado las universidades (Jiménez, Sanz, y Hernandez, 2008), entidades que en el caso colombiano han sido referentes para la investigación en el país.

Sin embargo, el modelo lineal no puede ser el único referente para los centros de formación del SENA, quienes al tener un contacto más directo con la industria y sus necesidades deben contribuir a la innovación.

- Modelo no lineal (*market-pull*), considera las condiciones del mercado como punto de partida para el desarrollo tecnológico, independientemente de si la respuesta proviene de un esfuerzo de tipo científico o de tipo tecnológico. En este modelo, las empresas utilizan los conocimientos que están a su alcance para responder de manera rápida y oportuna a un mercado cambiante. Uno de los modelos no lineales más usados se presentan en la Figura 2, y se atribuye a Marquis (Martelo, 2005).

El surgimiento de la innovación, tanto en el modelo lineal como en el no lineal, está condicionado por la capacidad que tiene la organización de adquirir nuevo conocimiento bien sea del exterior (Cohen y Levinthal, 1990), generado internamente cuando cuenta con ese conocimiento entre su personal, o de la transformación de los conocimientos de tácitos a explícitos que genere nuevas ideas y que dé lugar a un conocimiento compartido (Nonaka y Takeuchi, 1995). Se trata de procesos de convergencia y divergencia (Leonard y Sensiper, 1998) que permiten además el desarrollo de una serie de competencias en los individuos (Kogut y Zander, 1992; Leonard-Barton, 1999) para que apoyen a sus organizaciones en el desarrollo de la innovación.

La estrategia asumida por el Centro de diseño y manufactura del cuero del SENA, creó y estructuró el grupo de investigación biomecánica, materiales, TIC, diseño y calidad para el sector cuero, plástico, caucho y sus cadenas productivas – BIOMATIC, para desarrollar investigaciones pertinentes para la realidad que afronta la industria colombiana del cuero y el calzado, impulsar la innovación en las actividades académicas del Centro de diseño y manufactura del cuero y del sector productivo atendido por la entidad.

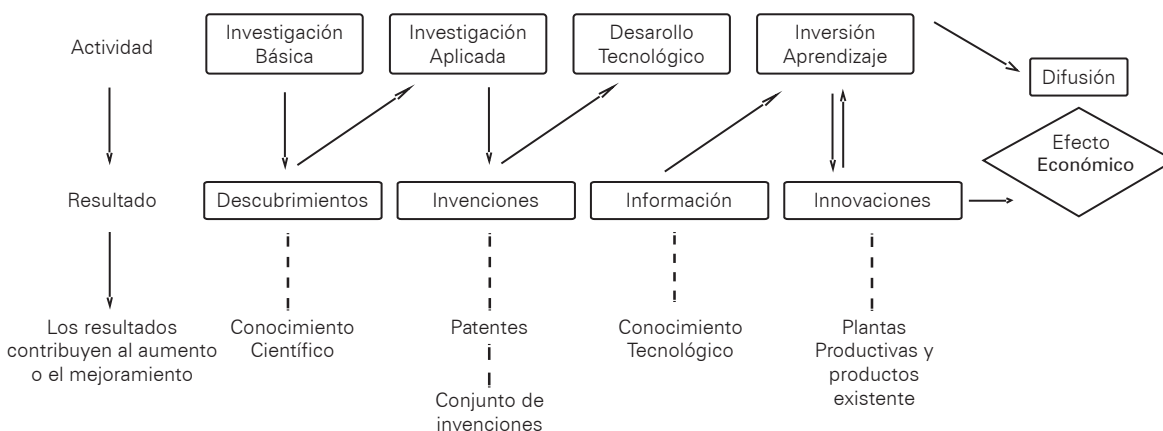


Figura 1. Modelo lineal de innovación o *technology-push*. **Fuente:** Martelo (2005).

La hipótesis de partida asumida por el grupo de investigación fue la elaboración de un plan estratégico acorde a las necesidades de su entorno, y emplear un modelo de gestión apropiado que promueva la innovación, tanto en la comunidad académica como en el sector productivo.

Metodología

En el desarrollo del trabajo se tomaron como referentes: los planes de desarrollo nacional y regional; las directrices en términos de ciencia, tecnología e innovación definidas por COLCIENCIAS para los actores del Sistema Nacional de CTI; los planes de acción del SENA como entidad directiva de orden nacional y del Centro de diseño y manufactura del cuero.

Para el análisis de las tendencias asociadas a la industria del calzado y el cuero se tomó como referencia: el estudio desarrollado en el centro (Velásquez y Castro, 2013), el estado de la industria del plástico y el caucho por ser sectores productivos conexos con la fabricación de calzado.

Se efectuó un diagnóstico del Centro de diseño y manufactura del cuero con el fin de considerarlo como caso de estudio, por tratarse de una organización de formación para el trabajo que desea fortalecer la innovación y desarrollo tecnológico por medio del aprendizaje organizacional. Se tomaron como base los aportes de Rodríguez-Antón y Trujillo-Reyes (2007), quienes indicaron que el liderazgo, el trabajo en equipo, la innovación, el cambio organizacional, la gestión del conocimiento y la estructura representan los cimientos de lo que ellos denominaron “una organización que aprende”.

En la elaboración del plan estratégico del grupo BIOMATIC como fuente de desarrollo de innovación del Centro de diseño y manufactura del cuero, se consideraron 4 variables:

- la innovación (como reproductora del aprendizaje organizacional),
 - la estructura organizacional (modelo organizativo en la gestión de la investigación e innovación y método de formación por proyectos que imparte el SENA),
 - el trabajo en equipo (interdisciplinariedad entre programas de formación),
 - la gestión del conocimiento (como entidad educativa).
- Como factor adicional se consideró también el tamaño del Centro de diseño y manufactura del cuero (número de programas técnicos y tecnológicos ofrecidos).

El trabajo se desarrolló con un enfoque metodológico empírico-subjetivo-informal (Aktouf, 2001), la formulación estratégica se elaboró como un proceso concreto basado en las experiencias de una organización educativa pública para la formación, que hace parte del sistema nacional de investigación, desarrollo tecnológico e innovación que debe responder a las necesidades del entorno.

Diagnóstico del objeto de intervención

Como referentes nacional y departamental, se tomaron el Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 (Departamento Nacional de Planeación, 2010) y el Plan de Desarrollo Departamental 2012-2015 (Gobernación de Antioquia, 2012), que coincidieron en indicar que la innovación y el desarrollo tecnológico constituyen las estrategias para mejorar las condiciones de competitividad del país y el departamento de Antioquia. El SENA tiene un papel estratégico en el apoyo a la innovación; por lo tanto, es coherente encontrar que en su plan estratégico el Centro de diseño y manufactura del cuero reconozca la innovación como herramienta para enfrentar las problemáticas que ha tenido la industria colombiana del cuero y el calzado en la última década.

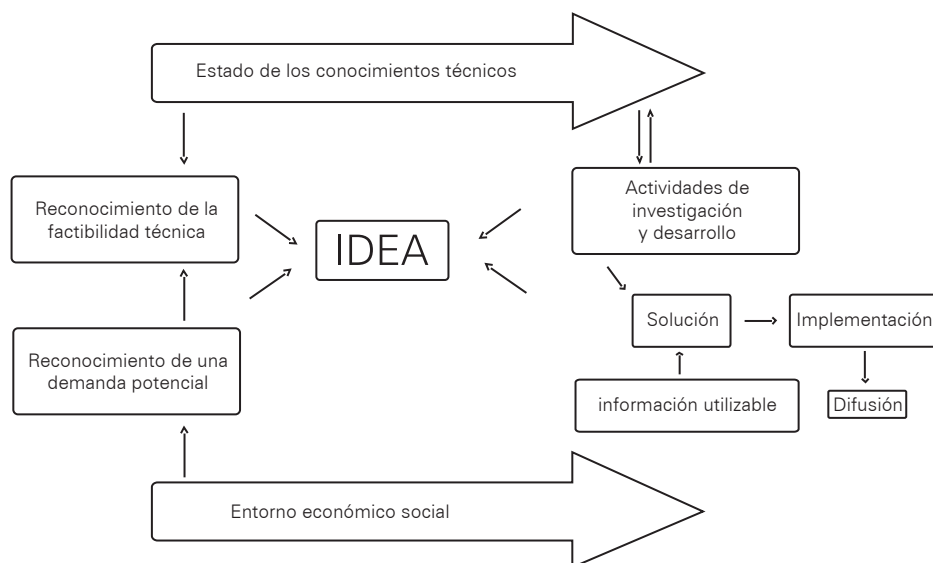


Figura 2. Modelo de innovación Marquis. Martelo (2005).

A pesar de las dificultades que atraviesan esos sectores, existe gran interés de entidades como la Gobernación de Antioquia para apoyarlos, y de hecho los ha incorporado a uno de sus clusters estratégicos; el de confección, diseño y moda (Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia, 2009), consciente del impacto local pero aportando también al crecimiento y desarrollo económico del país. Para terminar de comprender el entorno en el que se elaboró el plan estratégico del Grupo BIOMATIC, es pertinente indicar que el Centro de diseño y manufactura del cuero se encuentra adscrito a la Regional Antioquia del Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA, orienta a la formación para el trabajo, capacidad de innovación y desarrollo tecnológico en el sector cuero, calzado y marroquinería.

En el 2012, se creó el grupo de investigación biomecánica, materiales, TIC, diseño y calidad para el Sector cuero, plástico, caucho y sus cadenas productivas-BIOMATIC, con las siguientes funciones:

- Liderar la actividad investigativa en la entidad siguiendo las tendencias mundiales y las políticas definidas en Colombia por el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación-SNCTI;
- Mejorar las condiciones de la competitividad pensando en los retos de la industria colombiana.
- Incorporar procesos de innovación, investigación y desarrollo tecnológico a las actividades académicas que ofrece el centro de diseño y manufactura del cuero como entidad orientada a la formación para el trabajo, de tal manera que instructores y aprendices se involucren.

El Centro de diseño y manufactura del cuero implementó como filosofía que la innovación surja de las actividades de investigación y desarrollo, las cuales se implementaron a partir de un descubrimiento científico en los proyectos desarrollados por el grupo BIOMATIC, o en la necesidad de las empresas de obtener nuevos productos, procesos o información para atender sus líneas de negocio. Se trató de una combinación de los modelos lineal y no lineal, entendiendo que en el caso del SENA la innovación no puede surgir exclusivamente de la investigación desarrollada al interior de la entidad, por la ya explicada naturaleza de su misión como apoyo a la industria, pero tampoco puede definir como únicas líneas de investigación las que surjan de las necesidades manifestadas por las empresas. Por esto el grupo BIOMATIC para su desarrollo estratégico centró su proceso de innovación en un enfoque bilateral no excluyente como el descrito por Schmookler, en donde se generó conocimiento técnico, resultado de una actividad investigadora original (Schmookler, 1966,

citado por Freeman, 1974). En este enfoque, la detección de una necesidad hizo parte del proceso de investigación y desarrollo, de tal manera que al final se realizó una transferencia de tecnología a quien planteó la necesidad inicial.

El proceso de innovación se identificó y complementó la investigación propia con las necesidades del medio; se tuvo en cuenta la relación entre el aprendizaje organizacional y la innovación, dado que como institución de formación para el trabajo es fundamental que se genere en sus aprendices competencias para la innovación, resultando, finalmente, funcionarios innovadores que formaron parte de una organización ya establecida o bien como emprendedores innovadores. BIOMATIC afianzó en el Centro de diseño y manufactura del cuero el proceso de aprendizaje organizacional aplicando el modelo de direccionamiento estratégico (SENA, 2003), haciendo énfasis en cuatro factores: proceso de dirección estratégica, papel de los dirigentes, gestión de recursos y aprovechamiento del talento humano, siempre enmarcados en la cultura de la innovación, lo cual es un carácter diferenciador de otros procesos de direccionamiento estratégico.

Para terminar de describir el marco de referencia se elaboró la formulación estratégica de BIOMATIC. Es pertinente indicar que se establecieron alianzas con universidades para convertir las investigaciones científicas que en ellas se desarrollaban, en investigaciones aplicadas a la industria del cuero y el calzado.

El proceso de formulación estratégica

En la planeación estratégica de una organización, se deben confrontar los deseos de sus directivos y las dificultades, derivadas de la complejidad de cada organización. Si el direccionamiento estratégico atraviesa problemas debido a esa misma complejidad y a una escasa valoración, la implementación conducirá a serias debilidades en gestión y administración de recursos, que se traducen a su vez en el riesgo reproducible del desempeño organizacional y en la pérdida de competitividad y por ende, el no alcance de los objetivos planteados. Por esto los directivos deben: dejar en un segundo plano sus necesidades, intereses y criterios, dar prioridad a la efectividad de la implementación de la estrategia de acuerdo con las limitantes de la organización, proporcionar objetividad al proceso de formulación estratégica, desde el enfoque prescriptivo e incluso en sus postulados descriptivos. Además, los recursos pueden reducir o apalancar significativamente la capacidad de gestión de la organización; por eso en muchas ocasiones durante la planeación estratégica se subvaloran los atributos claves de la misma (Dess y Lumpkin, 2003): “reacciona y no prevé de manera estratégica; subordina los objetivos

del largo plazo ante esfuerzos y resultados de corto plazo; imperan como criterio de validez la subjetividad y los intereses individuales sin considerar la posición de otras partes interesadas; y sacrifica eficiencia en nombre de eficacia”.

Por último, debe tener en cuenta el factor talento humano. Teóricamente el direccionamiento estratégico contempla la participación del personal, la importancia y gestión del talento humano, la valoración de capital intelectual, aspectos descubiertos desde los inicios de la escuela de las relaciones humanas y consolidados a través del desarrollo de las teorías de motivación, desarrollo organizacional y comportamiento organizacional (Robbins, 2004).

Diagnóstico del centro de diseño y manufactura del cuero del SENA en cuanto a la innovación de productos, procesos y/o servicios que puedan ser llevados a una comercialización.

Sobre los factores que obstaculizan el desarrollo de la innovación en el Centro de diseño y manufactura del cuero, se indagó con el fin de enfrentarlos mediante la formulación de un plan estratégico del grupo BIOMATIC.

Para ello se realizó: diagnóstico en cuanto a la innovación de productos, procesos y/o servicios que puedan ser llevados a comercialización; evaluación de los diseños curriculares existentes de los programas de formación, con el fin de escoger los elementos más pertinentes que sirvieran para la construcción del sistema de gestión estratégica que optimizara el desarrollo de la innovación en el centro por medio del grupo BIOMATIC.

Como instrumento de consulta, se aplicó una encuesta a los instructores líderes de cada programa de formación del centro de diseño y manufactura del cuero, y con los datos obtenidos se llevó a cabo un análisis descriptivo. Se encontró que en los cinco programas de formación, tanto de técnicos como de tecnólogos, se han detectado proyectos formativos que pudiesen ser llevados a la creación de productos innovadores; sin embargo, ninguno se ha llevado a cabo. Adicionalmente, se pudo identificar que en el centro de diseño y manufactura del cuero se cuenta con cinco líneas de investigación para la generación de innovaciones y desarrollos tecnológicos: biomecánica, materiales, diseño, TICs y calidad. Con base en esta información, el grupo BIOMATIC priorizó dichas líneas de investigación como se aprecia en la figura 3.

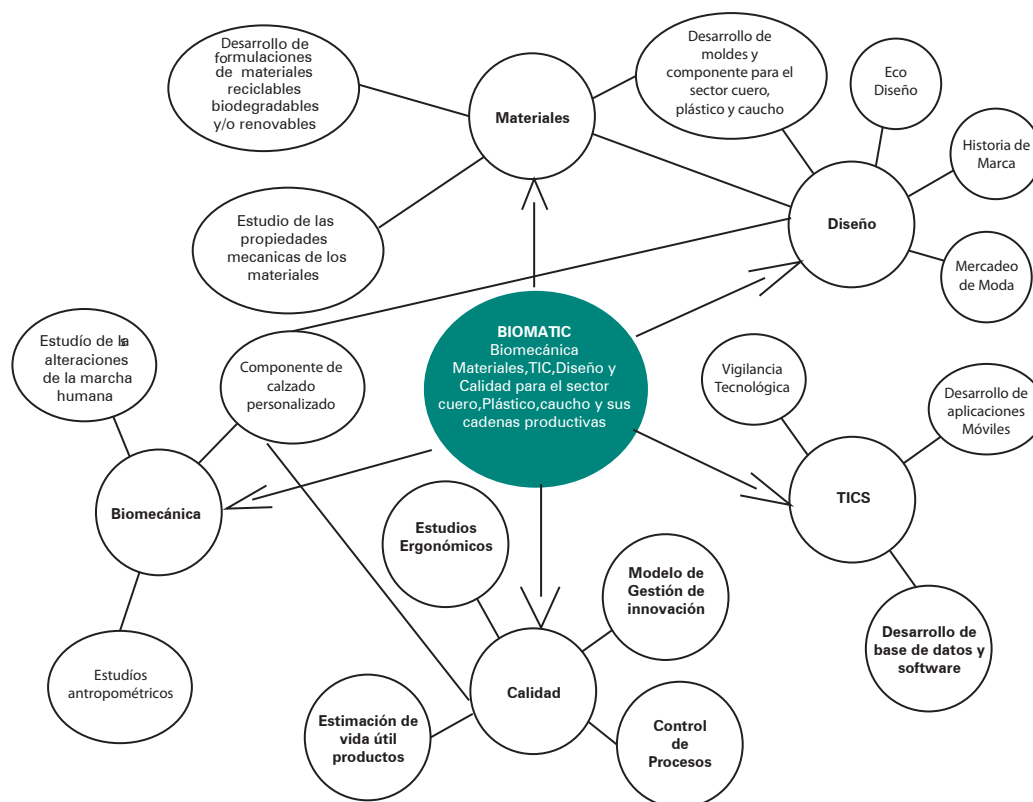


Figura 3. Priorización de líneas de investigación de acuerdo con el diagnóstico realizado

Estructura Organizacional

Para definir la estructura organizacional más apropiada para la gestión de la investigación e innovación, se realizó una revisión de las tendencias y los modelos organizativos más destacados tanto a nivel nacional como internacional, los cuales se resumen en la figura 4.

Las tendencias identificadas en el Centro de diseño y manufactura de cuero, se presentan en la figura 4; con la información recopilada, se creó un proceso a través del grupo BIOMATIC por medio del cual se desarrollaron las investigaciones e innovaciones.

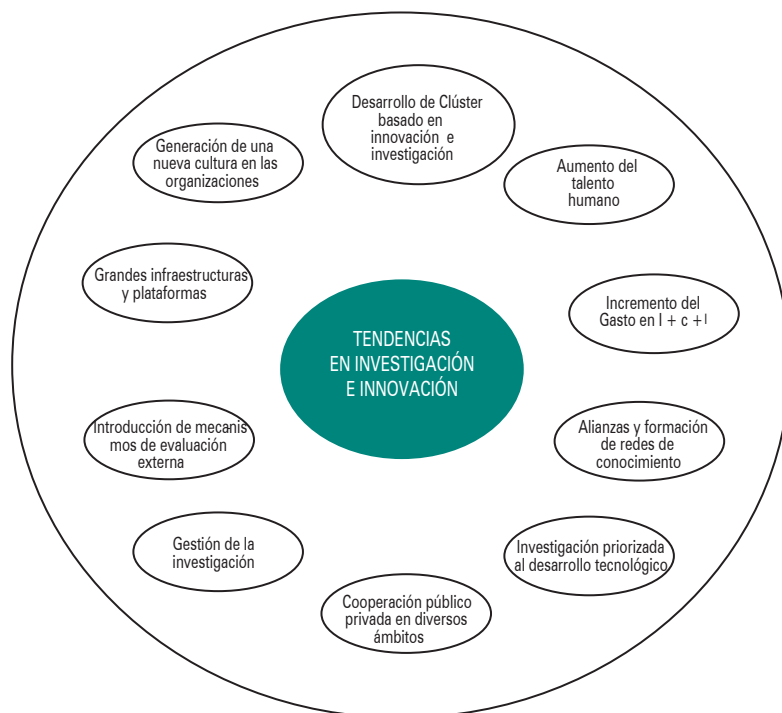


Figura 4. Tendencias en la investigación (Fuente de los autores)

desarrollo tecnológico e innovación conocido como SENNOVA, que tiene el propósito de fortalecer los estándares de calidad y pertinencia en las áreas de investigación, desarrollo tecnológico e innovación, para impactar la formación impartida en la entidad. A través de esta estrategia, la institución reunió las líneas, programas y proyectos de cultura e innovación, entre las que se encuentran: Tecnoacademias, Tecnoparques, investigación aplicada, investigación en formación profesional, programas de fomento a la innovación empresarial y extensionismo tecnológico.

Desde la creación de BIOMATIC en el 2012, el Centro de diseño y manufactura del cuero se articuló al SENNOVA a través del grupo BIOMATIC como grupo de investigación registrado ante Colciencias.

En el proceso se distinguieron las siguientes fases: descriptiva (cuáles son los hechos); explicativa o interpretativa (según el enfoque, explicar por qué los hechos ocurren del modo en que fueron descritos o interpretar cuáles son los simbolismos subyacentes); contrastiva (evaluar las teorías elaboradas en la fase anterior); aplicada o aplicativa (en la cual se intenta sacar provecho de las teorías ya evaluadas para influir en la realidad), proceso que se esquematiza en la figura 5. Como lineamiento institucional, adicional a los que existían al momento de crear BIOMATIC, el SENA a nivel nacional en el año 2013 creó el sistema de investigación,

Gestión del conocimiento

El Centro de diseño y manufactura del cuero, como entidad de formación para el trabajo del SENA, desarrolló el proceso de gestión del conocimiento con base en la metodología de aprendizaje por proyectos, que desarrolló estructuras para promover y reconocer grupos de creatividad, que insten al desarrollo de innovaciones tecnológicas. El análisis curricular realizado favoreció primordialmente el desempeño de los aprendices, y no se ha consolidado la generación de innovaciones tecnológicas; esta situación no se debe a falta del planteamiento de una buena metodología en cada programa de formación, sino que se atribuye a la necesidad de promover la creatividad de los aprendices en grupos de trabajo multidisciplinarios. Debe continuarse con la cultura de promoción de la

ciencia, tecnología e innovación entre los aprendices, pero incorporándolos a grupos multidisciplinarios. Analizando los factores identificados en el diagnóstico, el Centro de diseño y manufactura de cuero debe llevar a cabo ajustes a sus procesos educativos de tal manera que los proyectos formativos de los aprendices sean coherentes con las líneas de investigación, que busquen realizar trabajo interdisciplinario entre diversos programas de formación.

Los resultados del presente estudio impactan inmediatamente las actividades del Centro de diseño y manufactura del cuero, ya que planteó que se debe promover una cultura organizacional que fomente enfoques nuevos y originales para abordar las necesidades del entorno (aprendices y empresarios), convirtiéndose al mismo tiempo en una oportunidad para diferenciar los procesos de la institución por medio del grupo BIOMATIC.

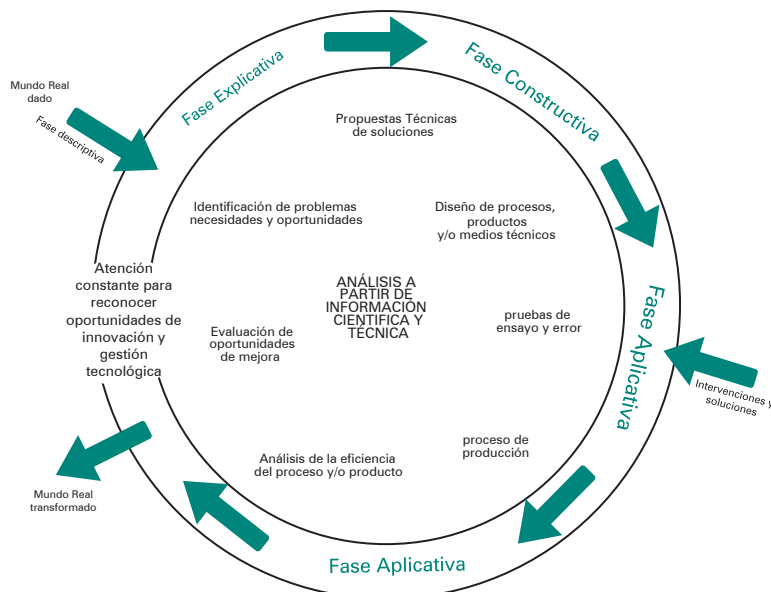


Figura 5. Proceso de innovación y desarrollo tecnológico del grupo BIOMATIC

Con base en los resultados obtenidos se procedió entonces a proponer un plan estratégico para el grupo BIOMATIC, el cual se esquematiza en la figura 6. Socializarlo con los directivos del Centro de diseño y manufactura del cuero para finalmente validarlo. Puede observarse que el plan estratégico apuntó al fomento de la innovación en toda la organización.

Conclusiones

Se formuló el plan estratégico del grupo BIOMATIC con base en las tendencias actuales en investigación a nivel mundial, el plan de acción del SENA y del Centro de diseño y manufactura del cuero, los planes de desarrollo nacional y regional, y el entorno productivo, teniendo en todo momento

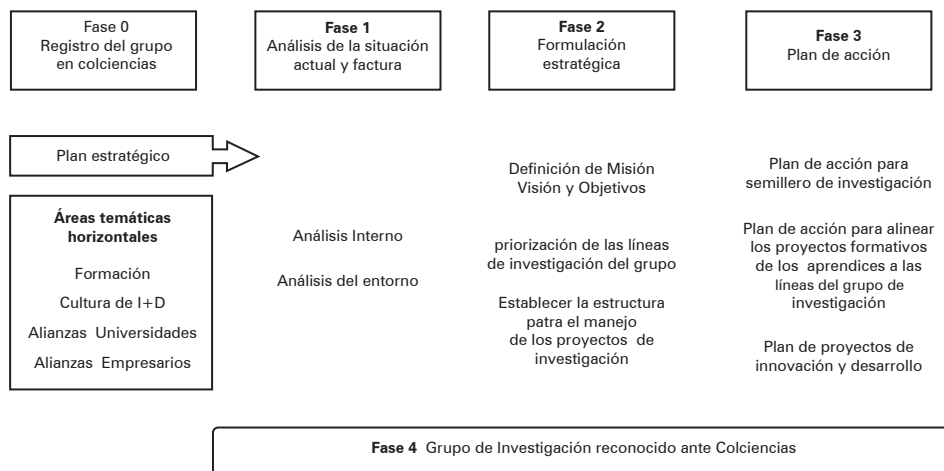


Figura 6. Plan estratégico del grupo BIOMATIC del Centro de diseño y manufactura del cuero.

como referente la innovación y el desarrollo tecnológico como estrategias para afrontar los retos de los sectores cuero, caucho y plástico y fomentar en los aprendices y las empresas la cultura del conocimiento, a fin de mejorar sus condiciones de competitividad.

El grupo de investigación BIOMATIC apoya los procesos de formación que se desarrollan en el Centro de diseño y manufactura del cuero, y debe propender por la generación de ambientes de aprendizaje con mayor grado de innovación, que a su vez fomente el trabajo creativo interdisciplinario, como se detectó en la encuesta realizada a los responsables por los programas de formación del centro. Fomentar la cultura de la innovación en el centro implica contar con un plan de acción que considere: fortalecer y desarrollar los diseños curriculares de los diferentes programas de técnicos y tecnólogos sobre la base de la importancia de la innovación como estrategia para el desarrollo de la economía, generar cultura innovadora entre aprendices, instructores y empresarios, usando principios del aprendizaje organizacional para que todos los involucrados se comprometan con la mejora de los procesos de formación y de relacionamiento con las empresas.

Referencias

- Aktouf, O. (2001). *La metodología de las ciencias sociales y el enfoque cualitativo en las organizaciones: una introducción al procedimiento clásico y una crítica*. Cali: Universidad del Valle-Facultad Ciencias Administración.
- Cohen, W., Levinthal, D. (1990). Absorptive-Capacity - A New Perspective on Learning and Innovation. *Administrative Science Quarterly*, 35(1), 128-152.
- Cámara de Comercio de Medellín Para Antioquia. (2009). *Documento Comunidad Cluster No. 5. Avances de la estrategia cluster en Medellín y Antioquia*.
- Crespi, G. and Zuñiga, P. (2012). Innovation and Productivity: Evidence from Six Latin American Countries. *World Development* 40(2), 273-290,
- Dess, G. y Lumpkin G. (2003). *Dirección estratégica*. Madrid: McGraw-Hill.
- Dirección Nacional de Planeación - Colombia. (2000). *Documento Conpes 3080 - Política de Ciencia y Tecnología 2000-2002*.
- Dirección Nacional de Planeación - Colombia. (2010). *Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 Prosperidad para Todos*.
- Freeman, C. (1974). *La teoría económica de la innovación industrial* Editorial Alianza Universidad. Gobernación de Antioquia. (2012). *Plan de Desarrollo 2012-2015 Antioquia La Más Educada*.
- Jimenez-Jimenez, D., Sanz-Valle, R. and Hernández-Espallardo, M. (2008). Fostering innovation: The role of market orientation and organizational learning. *European Journal of Innovation Management*, 11(3), 389-420.
- Kogut, B. and Zander U. (1992). Knowledge of the firm combinative capabilities, and the replication of technology, *Organization science* 3.
- Leonard - Barton, D. (1998). Wellsprings of knowledge: building and sustaining the sources of innovation, Harvard Business School Press. *Journal of Product Innovation Management*, 13, 334.
- Leonard, D. and Sensiper, S. (1998). The Role of Tacit Knowledge in Group Innovation. *California Management Review*, 40 (3), 112-132
- Lugo, C. y López, S. (2013). Rol del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) en el sistema nacional de ciencia, tecnología e innovación de Colombia. *Revista Informador Técnico*, 77(2), 192-200
- Martelo, C. B. (2005). *Modelo de innovación tecnológica basado en enfoque de redes sociotécnicas: Estudio del caso Montana*. Tesis de maestría. Universidad de los Andes.
- Medina, C. y Espinosa, M. (1994). La innovación en las organizaciones modernas. *Gestión estratégica*
- Nonaka, I., Takeuchi, H. (1995). *The Knowledge-Creating Company*, Oxford University Press.
- Robbins, S. (2004). *Comportamiento Organizacional*. México: Pearson Educación.
- Rodríguez Atón, J., Trujillo Reyes, J. (2007). ¿Las universidades son organizaciones que aprenden adecuadamente? *Universia Business Review*. 15, 100-119.
- Serna, H. (2003). *Gerencia Estratégica*. Colombia: 3R editores.
- Velásquez, S., Castro, J. (2013). Identificación de factores de éxito para el sector cuero, calzado y marroquinería en Colombia, usando metodología delphi: análisis estructural y juego de actores. *Revista Informador Técnico*, 77(2), 136-146

Estrategia para profesionalizar tecnólogos en operación de plantas petroquímicas

Strategy for professionalizing technologists in petrochemical plant operation

Recibido: 03-20-2013 Aceptado: 26-05-2014

Candelaria Tejada Tovar¹
Ángel Villabona Ortiz²
Cristian Rodríguez Bossa³

Resumen

La formación en pregrado por ciclos propedéuticos, se ha convertido en una nueva directriz de la política educativa en Colombia. Se presenta el diseño de un sistema que permitió articular eficientemente el programa, tecnólogo de operaciones de plantas petroquímicas del SENA, con el de ingeniería química de la Universidad de Cartagena, basado en el concepto de formación por ciclos propedéuticos. En el plan de formación de ambos programas y se establece una propuesta que permitió su articulación académica, para lo cual se diseñaron módulos de nivelación, con base en los conceptos ausentes de los tecnólogos en cada una de las asignaturas del ciclo básico de ingeniería. Se estableció el número de créditos totales validados en el sistema de acople, la manera como se dictaron estos módulos, y otras particularidades que hacen posible la articulación de ambos programas. De igual forma, se definieron los requerimientos administrativos necesarios para llevar a cabo este tipo de alianzas.

Palabras clave: Articulación; Ciclo propedéutico; Pregrado; Tecnología.

Abstract

Colombia's educational policy is now embracing a new approach to undergraduate formation based on propaedeutic cycles. This study presents the design of a system that efficiently links the study program offered by SENA for technicians in petrochemical plant operation with the undergraduate program of chemical engineering offered by the University of Cartagena, using as basis the concept of learning under the modality of propaedeutic cycles. The proposal to link both programs involved the designing of bridging (or validation) modules that addressed those concepts not covered by the technology study program regarding each of the subjects of the basic engineering cycle. The total number of credits validated through this system was defined as well as the way these modules would be offered and other features that enabled the successful interlinking of both programs. The administrative requirements to carry out this type of alliance were also defined.

Key words: Alliances; propaedeutic cycle; undergraduate formation; technology

- 1 Colombiana Ingeniera Química, Universidad Industrial de Santander, Colombia. Magister en educación, Universidad del Norte, Colombia. Especialista en Química analítica, Universidad de Cartagena, Colombia. Docente del grupo de investigación GIPIQ, de ingeniería química, Universidad de Cartagena. Colombia. E-mail: ctejadaT@unicartagena.edu.co
- 2 Colombiano Ingeniero Químico, Universidad Industrial de Santander, Colombia. Especialista en Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Universidad de Cartagena, Colombia. Docente de planta de ingeniería Química- Universidad de Cartagena, Colombia. E-mail: angelvillabona@yahoo.es
- 3 Colombiano Ingeniero Químico, Universidad de Cartagena, Colombia. E-mail: cristianr_bossa@hotmail.com

Introducción

Las respuestas a las inquietudes que demanda la sociedad del conocimiento, en especial el sector productivo, se basan en la formación por competencias y ciclos propedéuticos (Unidades tecnológicas del Santander, 2006). Esto, debido a que en la formación por ciclos el estudiante se puede insertar en un perfil laboral determinado en cada nivel de formación, ya que maneja diferentes niveles de capacitación, con la posibilidad de regresar a la academia y continuar con su ciclo de formación que va desde el nivel técnico hasta los niveles de posgrado.

A nivel nacional, el Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, desde el 2006 ha venido desarrollando convenios macro, con distintas Instituciones de Educación Superior (IES), con la finalidad, entre muchas otras, de poder articular programas técnicos y tecnológicos con programas de profesionalización de las distintas (IES), tal como lo refleja el SENA en el documento de programas de cadena de formación: articulación (SENA, 2008). Este tipo de articulaciones, o cadenas de formación como les llama el SENA, han tenido mucha más aceptación por las IES de régimen privado que por las de régimen público.

Las cadenas de formación se han realizado debido a la necesidad de integrar la formación profesional impartida por el SENA en coordinación con el Ministerio de Educación Nacional y las Instituciones de Educación Superior (IES) para que los egresados de la institución continúen el ciclo de profesionalización, su vida académica, y se cualifiquen en la inserción al mundo laboral (SENA, 2014). Se aborda la búsqueda de un sistema de acople, que permita la articulación de un programa tecnológico; en este caso operaciones de plantas petroquímicas, con el programa presencial de ingeniería química de la universidad de Cartagena, y así ampliar las posibilidades de inserción laboral y profesionalización de los egresados de este programa del SENA.

Marco teórico

La educación permanente, junto con los retos de acceso, cobertura, pertinencia y calidad, ocupa un lugar de gran importancia en la agenda de todos los países desde hace varias décadas. Desde los trabajos de Philips Coombs en 1968 y de Edgar Faure "Aprender a ser" publicado en 1972, y muy especialmente en este último, se fundamentó el concepto de educación permanente, en un momento en que los sistemas de educación tradicionales eran objeto de críticas (Coombs, 1968).

Una mirada a otros países permitió identificar el tipo de estrategias que utilizan para asegurar una formación

permanente y articulada. Los países europeos han diseñado la formación de la educación superior en tres ciclos: licenciatura, maestría y doctorado (Asociación colombiana de universidades, 2010). Otros en tanto, han organizado sistemas de reconocimiento de créditos y certificación de competencias en marcos de flexibilidad curricular que permiten reconocer a los estudiantes los aprendizajes y experiencias previas (Asociación colombiana de universidades). Estas experiencias muestran procesos de articulación fuerte entre los distintos componentes del sistema de educación superior que exigen la armonización de las titulaciones (Asociación colombiana de universidades, 2010).

En Argentina, la educación no superior universitaria es equivalente en Colombia a la educación técnica y tecnológica profesional, que se ofrece en los institutos superiores de formación docente, y en los institutos de formación técnica que otorgan títulos profesionales; estos se encuentran articulados horizontal y verticalmente con las universidades (UNESCO-Argentina, 2010). La educación superior universitaria, por su parte, está a cargo de universidades, instituciones académicas, científicas y profesionales de reconocido nivel. En estas instituciones universitarias se otorgan específicamente los grados en licenciado, títulos profesionales universitarios, y títulos de posgrado en especialización, máster y doctorado (UNESCO-Argentina, 2010).

En España, la educación universitaria se encuentra organizada por ciclos con objetivos formativos muy específicos y valor académico autónomo. Existen cuatro tipos de enseñanza: a) ciclo corto: 3 años de duración que conducen al título de licenciado, o por ejemplo ingeniero técnico, arquitecto técnico, b) de primer y segundo ciclo (ciclo largo), de 4, 5 ó 6 años de duración, que conduce al título de licenciado, ingeniero, arquitecto, c) de sólo segundo ciclo de dos años de duración que conducen a licenciado, ingeniero, arquitecto; d) tercer ciclo de 1 a 2 años de duración; tras superarlo el estudiante obtiene un certificado diploma acreditativo de estudios avanzados DEA, que les permite presentar tesis doctoral y obtener título de doctor. Sin embargo, el nuevo marco normativo introducido en el 2007 estableció que los planes de estudio se deben ajustar a la nueva estructura de enseñanza universitaria en tres ciclos de enseñanza: grados con un mínimo de 240 créditos, enseñanzas de máster con créditos entre 60 y 120; y enseñanzas de doctorado (UNESCO-España, 2010).

En México, la educación superior incluye carreras cortas profesionales, licenciaturas, y posgrados en educación normal, tecnológica y universitaria. Las carreras profesionales cortas tienen una duración de 2 a 3 años, y conducen al título

de técnico superior universitario, o profesional asociado; este nivel puede ser acreditado como parte del plan de estudios de una licenciatura, por lo que se puede establecer como una articulación entre estos dos niveles de educación superior (UNESCO-México, 2010).

En el caso de Colombia luego de la ley 749 del 2002 y la ley 1188 del 2008, muchas corporaciones universitarias e Instituciones de Educación Superior (IES) tanto públicas como privadas, han diseñado sus programas bajo la modalidad de formación por ciclos propedéuticos. A nivel nacional se encuentran instituciones educativas que ofertan distintos programas bajo esta modalidad, por ejemplo: la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (2011), el programa de ingeniería eléctrica; la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales en Bogotá (2011), los programas de química pura, y química farmacéutica, la Universidad del Tolima (2011) los programas de administración de empresas agropecuarias, y administración financiera, en Bogotá, la Corporación Universitaria Centro Superior (2011), los programas de ingeniería industrial, administración de empresas, contaduría pública e ingeniería de sistemas. A nivel regional, en el departamento de Bolívar, se encontró la Universidad de Cartagena (2011), en su división de formación a distancia CREAD, la cual ofertó los programas de administración agropecuaria y administración turística y hotelera; la Fundación Universitaria Tecnológica de Comfenalco (2011) oferta los programas de administración de empresas e ingeniería de sistemas. Esto demuestra, que las IES tanto públicas como privadas a nivel nacional, han apoyado este tipo de formación en los últimos años, y han ofertado varios programas bajo la modalidad de formación por ciclos propedéuticos.

Además, en Colombia a lo largo de los últimos años, se puede resaltar que varias instituciones de educación superior (IES), en las distintas regiones del país, han venido realizando cadenas de formación, que articulan programas tecnológicos y técnicos del Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, con programas profesionales y tecnológicos de las IES. Esto se ha logrado por iniciativa del SENA, y aceptación de las IES, a través de la gestión de sus distintos directores misionales en cada una de las regiones del país, lo que permitió que hasta el 2008, se realizaran alrededor de 409 articulaciones de programas técnicos y tecnólogos del SENA, con los programas profesionales y tecnológicos de las distintas instituciones de educación superior (IES) del país (SENA, 2011).

En Bogotá, se tiene como ejemplo universidades que han realizado cadenas de formación con el SENA: las universidades EAN, Escuela de Administradores de Negocios, en programas como administración de empresas,

negocios internacionales, ingeniería de producción, mercadeo, lenguas modernas, ingeniería de sistemas e ingeniería ambiental, y hasta el 2008, de esta universidad han egresado en estas carreras 75 alumnos tecnólogos del SENA (SENA, 2011).

La Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD realizó cadenas de formación con el SENA, en programas como administración de empresas, ingeniería industrial, ingeniería electrónica e ingeniería de sistemas; y hasta el 2008 han salido como profesionales 102 estudiantes tecnólogos del SENA. La institución universitaria Los Libertadores, realizó cadenas de formación con el SENA, en programas como: contaduría, administración de empresas, ingeniería industrial e ingeniería mecánica; y hasta el 2008 han salido como profesionales 427 estudiantes tecnólogos del SENA (SENA, 2011).

Metodología

Para el diseño del sistema de acople que permitió la articulación entre los programas de ingeniería química (IQ) de la Universidad de Cartagena y la tecnología de operaciones de plantas petroquímicas (TOPP) del SENA, se estudió y analizó el plan de formación del programa *tecnólogo de operaciones de plantas petroquímicas* (TOPP) y la propuesta curricular del programa de *ingeniería química* (IQ); esto se realizó mediante reuniones consecutivas de la mesa de trabajo SENA-Universidad de Cartagena.

Además, se diseñó una matriz de comparación que permitió contrastar los conocimientos de conceptos del plan de formación de TOPP y los contenidos de cada una de las electivas, cursos libres y asignaturas de primero a cuarto semestre del programa de IQ. Seguidamente se diseñaron los formatos que permitieron la articulación académica a los dos programas, se crearon módulos de nivelación, con base en los conceptos ausentes que tenían los estudiantes tecnólogos en cada una de las asignaturas del ciclo básico de ingeniería; esto se generó a partir de la revisión de las matrices de comparación que se realizaron en los primeros cuatro semestres.

Resultados

Inicialmente se logró establecer, por parte de la mesa de trabajo SENA-Universidad de Cartagena, que la duración de un programa tecnólogo en el SENA es de un periodo de 2 años e incluye las prácticas empresariales. Como inicio de este trabajo, se propuso por concertación de la mesa de trabajo, con la articulación entre los dos programas que se debía establecer, con la vinculación de los estudiantes del SENA en el quinto semestre del programa de ingeniería química. Esta decisión se justificó en su momento,

argumentado dos razones: la primera, consistía en que no tendría ningún sentido hacerlo por debajo de dos años o cuatro semestres, ya que el estudiante del SENA no tendría ningún tipo de motivación para ingresar al sistema de acople, debido a que prácticamente empezaría desde cero y no se le validaría su tiempo de estudio, ni el conocimiento previo, al momento de vincularse con la universidad; la segunda, consistía en que no se podría estar por encima del quinto semestre, debido a que desde este semestre los estudiantes de ingeniería química empezaban a cursar asignaturas de gran importancia para su formación (Universidad de Cartagena, 2012).

Por parte de la mesa de trabajo se realizó un análisis que contrastó los contenidos curriculares del programa de ingeniería química de la universidad de Cartagena con los planes de formación de la tecnología en operaciones de plantas petroquímicas del SENA (TOPP); para esto se tomaron: El plan de formación del TOPP, donde se encontraron todos los conocimientos de conceptos de este programa y los microcurrículos de las electivas, cursos libres, cada una de las asignaturas de los cuatro primeros semestres de programa de ingeniería química. Posterior a este análisis y contraste de los planes de formación de los dos programas, se diseñaron las matrices de comparación, concertada y aprobada por la mesa de trabajo SENA-Universidad de Cartagena, éstas se realizaron para cada una de las asignaturas del programa de ingeniería química, respecto

a todos los conocimientos de conceptos del tecnólogo en operaciones de plantas petroquímicas del SENA. Tal como se muestra en la tabla 1, se realizó con todas las asignaturas del programa de ingeniería química hasta cuarto semestre. Con estas matrices de comparación se logró identificar qué conceptos desconocen y cuáles sí dominan y poseen los estudiantes del SENA del ciclo básico en ingeniería química.

Metodología pedagógica propuesta

Para la construcción de los formatos pedagógicos, se utilizaron principalmente los resultados generados por las matrices de comparación; estos dispositivos permitieron definir y generar los módulos de nivelación que le brindan al estudiante egresado del SENA cursar todos los contenidos programáticos que desconocen en determinadas asignaturas del ciclo básico en ingeniería química (IQ). Se logró determinar que los estudiantes del SENA desconocen muchos conceptos básicos en cada una de las asignaturas de los primeros cuatro semestres del programa de ingeniería química, por lo que, con cada formato pedagógico, se busca eliminar cada una de las falencias que el estudiante trae en su formación tecnológica y así, lograr vincular eficazmente al quinto semestre del programa en IQ.

Para lograr esto, se diseñó un componente propedéutico, el cual consistió en módulos de nivelación que se crearon a partir del análisis de las matrices de comparación de cada una de las asignaturas de cada semestre.

Tabla 1. Ejemplo de matriz de contraste entre los conocimientos de conceptos del programa tecnólogo operadores de plantas petroquímicas y materias del programa de ingeniería química energética.

Competencias del plan de formación TOPP						
Asignatura en IQ	1	2	3	4	5	6
Calculo diferencial		Funciones Valor absoluto Desigualdad lineales y cudráticas Límites				
Conceptos Ausentes						
Funciones. Números reales. Teoremas de orden. Desigualdades Lineales y Cuadráticas. Valor absoluto. Plano cartesiano. Funciones. Funciones trigonométrica. Límites. Teoremas de límites. Límites de funciones Polinómicas. Límites de funciones racionales. Límites infinitos. Límites al infinito. Límites de funciones exponenciales. Límites de funciones trigonométricas. Continuidad. Asíntotas. Derivadas. Definición de derivada. Interpretación geométrica. Derivadas de funciones algebraicas. Derivada del producto. Derivada del cociente. Derivada de funciones exponenciales. Derivada de funciones logarítmicas. Derivada de funciones trigonométricas. Derivada de funciones trigonométricas inversas. Regla de la cadena. Derivadas de orden superior. Derivación implícita. Aplicaciones de la derivada. Razones afines. Problemas. Movimiento rectilíneo. Velocidad instantánea. Recta tangente. Teorema de Rolle. Teorema del valor medio. Teorema de L'hospital. Máximos y mínimos. Problemas.						

En la tabla 2, se observa el cuadro de asignaturas por semestres para ver cuáles se validan completamente y cuáles no, y por lo tanto deben ser cursados sus contenidos programáticos dentro de los módulos de nivelación.

Analizando los resultados de las asignaturas de los semestres, la mesa de trabajo propuso, por concertación, la

creación de los módulos de nivelación por semestre, que se presentan en la tabla 3, lo cual permitió que el estudiante egresado del SENA no carezca de ninguno de los conceptos académicos, créditos en el semestre.

Tabla 2. Análisis de las matrices de comparación de primer semestre

Semestre	Asignaturas validadas	Créditos validados	Asignaturas no validadas	Créditos faltantes
I	Comunicación I	11	Cálculo diferencial Vida universitaria Introducción a la ingeniería química	6
	Química general			
II	Geometría descriptiva	10	Cálculo integral Álgebra lineal Química inorgánica y laboratorio	10
	Fundamentos de matemáticas			
III	Comunicación II	7	Cálculo Vectorial Física II y laboratorio Fisicoquímica I y laboratorio	12
	Física I y laboratorio			
IV	Química orgánica y laboratorio	11	Ecuaciones diferenciales Física III y laboratorio	8
	Estequiometría			
	Informática II			
	Probabilidad y estadística			
	Termodinámica I			
	Química analítica			
	Metodología de la investigación			

Tabla 3. Módulos de nivelación por semestres propuestos por la mesa de trabajo

Semestre	Modulo	Contenido
I	Manejo de Conceptos Institucionales y de Ingeniería Química	El contenido programático comprenderá todos los conceptos que se desarrollan en las asignaturas de Vida universitaria e Introducción a la ingeniería química. Pero se manejarán las competencias de investigación en todos los trabajos que se desarrollarán.
	Matemáticas Integradas I	El contenido programático comprenderá todos los conceptos que faltan por desarrollar en cálculo diferencial.
II	Matemáticas Integradas II	Se desarrollaran los contenidos programáticos de las asignaturas cálculo integral y álgebra lineal.
	Química inorgánica y estequiometría	Se contemplan los contenidos programáticos y competencias faltantes de las asignaturas química inorgánica y algunas de estequiometría de tercer semestre.
III	Matemática III	Se desarrollan los contenidos programáticos y las competencias faltantes por desarrollar en la asignatura de cálculo vectorial.
	Física integrada I	Se desarrollan los contenidos programáticos y competencias faltantes por desarrollar en las asignaturas física y laboratorio I, física y laboratorio II.
	Físico química I y termodinámica	Se comprenden los contenidos y las competencias faltantes por desarrollar de la asignatura físico química I y termodinámica.
IV	Ecuaciones diferenciales	Se desarrolló el contenido programático y las competencias necesarias de la asignatura ecuaciones diferenciales.
	Física III	Se estudió el contenido programático y las competencias necesarias de la asignatura física III y laboratorio.

En general se establece la distribución de porcentajes de las asignaturas validadas y no validadas, tal como se muestra en la figura 1.

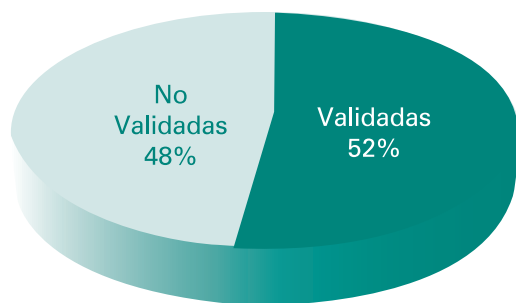


Figura 1. Distribución de validación de asignaturas

De igual manera, con el estudio realizado a los planes de formación de TOPP e IQ se logró determinar que el egresado y tecnólogo en operaciones de plantas petroquímicas conoce y maneja todos los contenidos programáticos de determinados cursos libres y electivos dentro del programa de IQ, por lo que se estableció, por la mesa de trabajo, validarles estas asignaturas. Los cursos libres y electivos que se validaron en el sistema de acople se pueden apreciar en la tabla 4.

Los estudiantes del SENA estudiaron las asignaturas de procesos químicos industriales e introducción a los polímeros, pero como el estudio se basó, por concertación de la mesa de trabajo, desde los cuatro primeros semestres hacia abajo, no se validaron estas asignaturas.

Por otro lado, se estableció trabajar de manera transversal en el semestre de acople (módulos de nivelación) los conceptos manejados en asignaturas como: metodología de la investigación, teniendo en cuenta que los estudiantes del SENA trabajan por proyectos a lo largo de su fase de formación tecnológica. De igual forma se manejó la informática, debido a que en el SENA las clases se realizan utilizando TIC y en las diferentes competencias se identificó un componente fuerte en esta área. Así mismo la Comunicación I y la Comunicación II, del programa de Ingeniería Química, se manejó de manera transversal en los módulos de nivelación, y en los cuales reforzarán la expresión oral y escrita.

De esta manera los estudiantes del SENA, después de haber cursado y aprobado los módulos de nivelación propuestos en el presente sistema, ingresarán al programa de ingeniería química en el quinto semestre con los ajustes sugeridos. Para optar al título de ingeniero químico, deberán cursar 78 créditos para completar los 169 exigidos por el programa. Además, deberán realizar obligatoriamente tres electivas ya que fueron validadas dos dentro del sistema, pero si el estudiante lo desea puede cursar hasta 5 electivas máximo. Cabe aclarar que no deberá asistir a ningún curso libre obligatoriamente, ya que se validaron seis, los cuales, dominan a cabalidad sus contenidos programáticos.

Propuesta para la puesta en marcha de los módulos de nivelación

Aprovechando la metodología a la que están acostumbrados los estudiantes del SENA, se propuso trabajar cada uno de los 9 módulos con una intensidad horaria dependiendo de los créditos académicos de la siguiente manera.

Tabla 4. Cursos libres y electivos validados

Cursos libres	Créditos validados
Higiene y seguridad industrial	2
Seguridad industrial	2
Informática básica	2
Espíritu empresarial	2
Efectos globales de la contaminación, el hombre y el medioambiente	2
Cultura ciudadana	2
Total créditos	12
Electivas	Créditos validados
Seguridad Industrial	2
Control de calidad	2
Total créditos	4

Los módulos de 2 créditos deben tener una intensidad horaria de 32 horas

Los módulos de 4 créditos deben tener una intensidad horaria de 64 horas

Los módulos de 6 créditos deben tener una intensidad horaria de 96 horas.

Los 9 módulos que se establecieron en el sistema de acople, se cursaron en un tiempo comprendido entre 16 y 20 semanas o un semestre, con un máximo de tres módulos de nivelación en simultáneo, es decir, terminando tres módulos, se inicia el siguiente grupo de manera inmediata, programándole ocho horas diarias, similar a la metodología que se utiliza en la facultad de ingeniería para los cursos vacacionales, rigiéndose por lo establecido en el reglamento estudiantil en lo referente a habilitaciones, cursos vacacionales, entre otros.

Sistema de calificación de las materias de primero a cuarto semestre.

Se logró establecer que la mayoría de las notas de las asignaturas de primero a cuarto semestre, sean calificadas en los módulos de nivelación de los dispositivos pedagógicos para cada semestre, y que las asignaturas validadas sean certificadas previamente por el SENA a través de un certificado de notas.

Se propuso, por concertación en la mesa de trabajo SENA – universidad de Cartagena, que las notas de los cursos libres y electivas validadas provengan previamente certificadas por el SENA.

Sistema de acople

Luego del estudio de los planes de formación de ambos programas, de la construcción de las matrices de comparación, del diseño de los dispositivos pedagógicos para cada semestre, de las diferentes decisiones que se tomaron por parte de la mesa de trabajo SENA–Universidad de Cartagena, el diseño del sistema de acople para la articulación de ambos programas quedó como se muestra en la figura 2.

	Positivo	Negativo
Origen Interno	Fortalezas	Debilidades
Origen Externo	Oportunidades	Amenazas

Figura 2. Sistema de acople

Entre los criterios de admisión al sistema de acople se definió que la modalidad de admisión será semestral, con un máximo de vinculación de 10 estudiantes por semestre, y que los criterios de selección serán un examen de admisión y una entrevista, realizados por la coordinación de articulación SENA-Universidad de Cartagena.

Los aspirantes a vincularse al sistema de acople deberán poseer:

- Título de tecnólogo en operaciones de plantas petroquímicas (hombre o mujer).
- Prácticas empresariales
- Libreta militar en caso de ser hombre.
- Máximo tener 2 años de ser egresado del SENA.

Luego de establecer el sistema y los requisitos para su admisión, se realizó una matriz DOFA, tal como se observa en la figura 3, con la finalidad de realizar un análisis de manera objetiva al sistema de acople diseñado. Es importante destacar cómo la matriz DOFA se dividió en factores de origen interno y externo. Los factores internos (fortalezas y debilidades) se pueden controlar de una manera eficiente; los factores externos generalmente tienen poco margen de maniobra. Estos son factores que usualmente se aceptan como hechos y bajo estas condiciones se debe trabajar. A continuación, se evalúan cada uno de estos factores.

Fortalezas

- Los planes de estudio de ingeniería química tecnología en operaciones de plantas petroquímicas son pertinentes para un ciclo propedéutico.
- Existió apoyo por parte de la vicerrectoría académica de la Universidad de Cartagena, por los directivos del SENA regional Bolívar específicamente del Centro para la industria petroquímica y del gobierno nacional que promueven este tipo de proyectos.
- El sistema de acople diseñado mejoró la flexibilidad curricular de ambos programas, y permite establecer un fuerte vínculo entre ambas instituciones SENA–Universidad de Cartagena, lo cual permitirá la movilidad de docentes y estudiantes, para el uso de la infraestructura, equipos y laboratorios.
- El sistema de acople diseñado, permitió que el programa de ingeniería química ampliara su cobertura.
- La metodología utilizada para la realización del diseño del sistema de acople fue muy pertinente ya que no deja ningún factor sin resolver relevante en una articulación de esta índole.

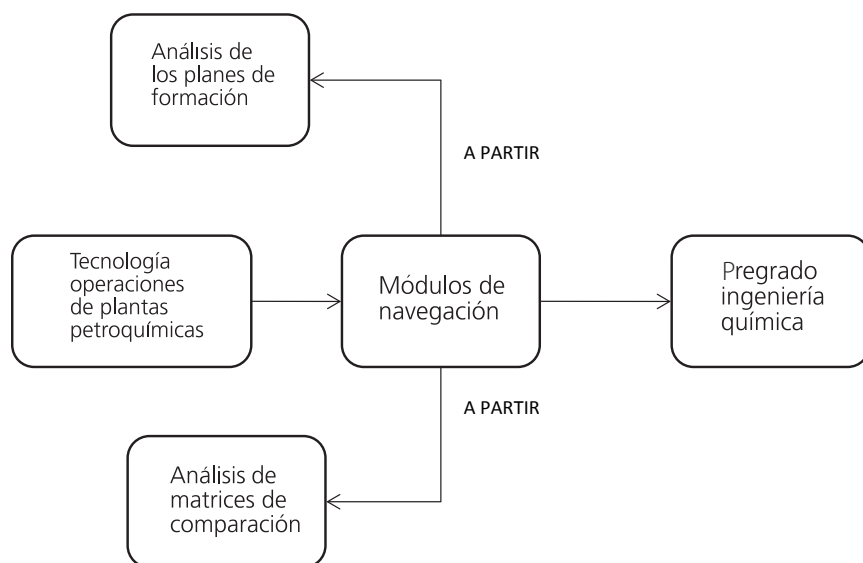


Figura 3. Matriz DOFA

Debilidades

- La posible poca aceptación, por parte de la comunidad estudiantil del pregrado en ingeniería química y de algunos docentes de la facultad de ingeniería de esta formación por ciclos propedéuticos en alianza estratégica SENA– Universidad de Cartagena.
- El programa tecnólogo posee una formación débil en ciencias básicas, lo que amplía el tiempo de duración de los módulos de nivelación.
- Que no haya disponibilidad presupuestal dentro de la Universidad de Cartagena para ejecutar y suplir las necesidades iniciales del sistema de acople diseñado, referido a aulas, docentes, entre otros.
- Que los estudiantes en el sistema no se mantengan por no darse una fácil adaptación debido a debilidades en aspectos pedagógicos requeridos en los módulos de nivelación.
- Que exista una alta deserción en los módulos de nivelación por parte de los estudiantes que se vinculan al sistema.

Oportunidades

- Trabajar la formación en ingeniería por ciclos propedéuticos en una articulación estratégica SENA– Universidad de Cartagena.
- Reconocimiento por parte del Ministerio de Educación Nacional y por la comunidad académica en general, por el sistema de acople diseñado, que permitió lograr articulación pertinente entre la formación tecnólogo del SENA y la formación profesional presencial de la Universidad de Cartagena.

- Tener una fuerte relación entre la facultad de ingeniería de la Universidad de Cartagena y el centro para la industria petroquímica del SENA regional Bolívar lo que traerá beneficios muy importantes para ambas instituciones.

Amenazas

- Que exista una escasa demanda por parte de los egresados tecnólogos del SENA para vincularse al sistema de acople diseñado, lo cual traerá problemas de sostenibilidad al sistema.
- Que ocurrieran, modificaciones sustanciales a las propuestas curriculares de ambos programas, lo cual implicaría modificaciones a los dispositivos pedagógicos, a los microcurrículos de los módulos de nivelación y al sistema de acople diseñado.

Luego de establecer el análisis DOFA para la puesta en marcha del sistema de acople diseñado, dentro de la Universidad de Cartagena, se necesitó una serie de requerimientos administrativos que permitió superar las posibles debilidades que puedan darse en la articulación, que retuvo la creación de un departamento llamado coordinación de articulación SENA–Universidad de Cartagena, adscrito a la facultad de ingeniería, más específicamente, al programa de ingeniería química de la Universidad de Cartagena; en este departamento se manejó y diseñó el examen y la entrevista de admisión, que estableció, además acompañamiento académico al estudiante.

Por otro lado se requirió en bienestar universitario establecer acompañamiento especial a través de sus

programas a estos estudiantes de la articulación SENA–Universidad de Cartagena, para su total acople al sistema universitario, que evite posibles deserciones de los mismos. Por último se, contrató nueva planta docente, que preste una excelente atención, manejo de buenas estrategias pedagógicas dentro de las clases y responsabilidad con todo los contenidos programáticos de los microcurrículos de los módulos de nivelación, para lograr la total adaptación de los estudiantes a la carrera de ingeniería química.

Conclusiones

- A través de la constitución de la mesa de trabajo SENA–Universidad de Cartagena, se logró estudiar los planes de formación y contenidos curriculares, de ambos programas en mención, lo que permitió generar matrices de comparación, y así determinar los conocimientos de los que carecen y que dominan los estudiantes del SENA en el ciclo básico de ingeniería química para cada una de las asignaturas de los cuatro primeros semestres.
- Con la información que generaron las matrices de comparación, se logró diseñar los dispositivos pedagógicos que permitieron validar los créditos y conocimientos de cada una de las asignaturas de los cuatro primeros semestres. Se logró, de esta manera, obtener un buen mecanismo de validación para los semestres analizados. También se estableció el número de créditos totales validados en el sistema de acople, de donde provienen cada una de las notas de las asignaturas validadas y la manera como se dictarán estos módulos y otras particularidades que hacen posible la articulación de ambos programas.
- Se definieron los requerimientos administrativos necesarios para que sea viable y funcione el sistema de acople, tales como: la creación de un departamento administrativo adscrito al programa de ingeniería química, apoyo de la administración central, apoyo de la planta docente y de la división de bienestar universitario.
- Se recomienda aplicar el sistema de acople diseñado dentro de la Universidad de Cartagena, teniendo en cuenta todas los requerimientos administrativos para el sistema, ya que será un ejemplo piloto a nivel regional, y se lograría demostrar que sí es posible este tipo de proyectos de articulación, siempre que los planes de formación de ambos programas sean muy afines, y exista disposición por parte de las respectivas instituciones.

Referencias

Asociación colombiana de universidades (2009). *Debate sobre la formación por ciclos propedéuticos en la educación superior en Colombia*. ASCUN. Recuperado de; <http://www.micrositios.net/~ascunor/?idcategoria=2206&download>.

Coombs, Philip H. (1968). *La crisis mundial de la educación - un análisis de sistemas*, UNESCO/IIPE; pp.2-4.

Corporación Universitaria Centro Superior (2011). *Programas; ingeniería industrial*. Recuperado de <http://www.unicuces.edu.co/prueba2/index.php/programas-pregado/facultad-de-ingenierias?id=109:ingenieria-industrial&catid=5>.

Corporación Universitaria Centro Superior (2011). *Programas; administración de empresas*. Recuperado de <http://www.unicuces.edu.co/prueba2/index.php/programas-pregado/ciencias-economicas-y-administrativas/administraciondeempresas>.

Corporación Universitaria Centro Superior (2011). *Programas; contaduría pública*. Recuperado de <http://www.unicuces.edu.co/prueba2/index.php/programas-pregado/ciencias-economicas-y-administrativas/contaduria-publica>.

Corporación Universitaria Centro Superior (2011). *Programas; ingeniería de sistemas*. Recuperado de <http://www.unicuces.edu.co/prueba2/index.php/programas-pregado/facultad-de-ingenierias/ingenieria-de-sistemas>.

Funación Universitaria Tecnológico Comfenalco (2011). *Programas; ingeniería de sistemas*. Recuperado de <http://www.tecnologicocomfenalco.edu.co/SitiosFutco/programas/index.aspx?sit=77>.

Servicio Nacional de Aprendizaje (2011) *Directorio funcionarios SENA responsables programa cadena de formación articulación Sena–IES*. Recuperado de <http://mgiportal.sena.edu.co/downloads/2010/snft/DIRECTORIO%20RESPONSABLES%20PCF%20IES.pdf>.

Servicio Nacional de Aprendizaje (2011). *Programa cadena de formación articulación Sena - instituciones de educación superior*. Recuperado de <http://portal.senasofiaplus.edu.co/index.php/novedades/novedades/468-programas-de-formaciasn-sena-en-articulaciasn-con-el-sistema-educativo>.

Servicio Nacional de Aprendizaje (2011). *SENA inscrito en universidades en convenio*. Recuperado de <http://www.universitarios.co/category/el-sena>.

UNESCO (2010). *Base de datos Word data education: documento país México*; UNESCO, pp 15-16.

UNESCO (2010). *Base de datos Word data education; documento país argentina*, UNESCO pp 12-13. 2010.

UNESCO (2010). *Base de datos Word data education; documento país España*, UNESCO, pp 16-17.

Universidad de Cartagena (2011). CREAD: *Programas; administración agropecuaria*. Recuperado de http://www.colombiaaprende.edu.co/html/mediateca/1607/articles-140237_archivo.ppt.

Universidad de Cartagena (2011). CREAD: *Programas administración turística y hotelera*. Recuperado de http://www.unicartagena.edu.co/index.php/administracion-turistica-y-hotelera-a-distancia#.U4-O4_l5NnE.

Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales UDCA (2011). *Programas: Química pura*. Recuperado de <http://www.udca.edu.co/images/quimica.pdf>.

Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales UDCA (2011). *Programas: Química farmacéutica*. Recuperado de <http://www.udca.edu.co/es/programa-quimica-farmaceutica.html>.

Universidad del Tolima (2011). *Programas: administración de empresas agropecuarias*. Recuperado de http://www.ut.edu.co/administrativos/images/DOCUMENTOS%20ADMINISTRATIVOS/GRADUADOS/An%C3%A1lisis_comportamiento_de_la_vinculaci%C3%B3n_laboral_Admon_de_E._Agropecuarias.pdf.

Universidad del Tolima (2011). *Programas: Administración financiera*. Recuperado de http://www.ut.edu.co/administrativos/images/DOCUMENTOS%20ADMINISTRATIVOS/GRADUADOS/An%C3%A1lisis_comportamiento_de_la_vinculaci%C3%B3n_laboral_Administraci%C3%B3n_Financiera.pdf.

Universidad Distrital Francisco José de caldas (2011). *Dependencias: Ingeniería eléctrica por ciclos propedéuticos*. Recuperado de <http://www.udistrital.edu.co/dependencias/tipica.php?id=161>.

Desarrollo de productos industriales tecnológicos en el marco de la periferia

Developing technological industrial products in a periphery framework

Recibido: 18-11-2013 Aceptado: 30-05-2014

Cristian David Chamorro¹
David Chaquea Romero²

Resumen

El análisis tecnológico de las dinámicas de desarrollo de productos en la periferia implica, en primera instancia, la conceptualización de 'técnica' y 'tecnología' como formas de construcción del conocimiento y como medios de producción. A partir de ello se configuró un referente crítico para determinar los componentes de un proceso de desarrollo de productos en el marco de la tecnología, el cual se relacionó con el contexto industrial que ofreció la periferia, que en el caso del contexto latinoamericano fueron las pequeñas y medianas empresas (PYMES). Por lo tanto se estructuró este proyecto, que buscó configurar un instrumento para el análisis tecnológico de los procesos de desarrollo de productos en las PYMES.

Palabras clave: Técnica; tecnología; desarrollo de productos; periferia.

Abstract

The technological analysis of product development dynamics in the periphery initially involves the conceptualization of 'technique' and 'technology' as forms of knowledge building and as means of production. A benchmark was accordingly defined to determine the key components of a product development process within a technological context, which is related to the industrial context provided by the periphery that, in the Latin American context, involve small and medium enterprises (SMEs). This project was structured accordingly and aimed to design a tool to analyze product development processes in SMEs from a technological viewpoint.

Key words: Technique; technology; product development; periphery.

1. Colombiano MSc, IM docente Departamento de Diseño Universidad del Valle. Cali - Colombia.

2. Colombiano Diseñador Industrial, Coordinador grupo de investigación, Universidad del Valle.

Introducción

Posterior a la construcción conceptual epistemológica de la técnica y la tecnología, elaborada a través de las experiencias de Ortega y Gasset (1982), Ladriere (1977), Mitcham (1994), Meijers (2009) y Bunge (1960), tal parece ser que la tecnología es el medio adecuado para el desarrollo de productos industriales. En síntesis la técnica y la tecnología se configuró desde dos dinámicas semejantes compartiendo su objetivo, pero con divergencia en su método. El propósito de la técnica es la transformación del entorno, por parte del ser humano, que se adoptó y aprehendió por la tecnología. En cuanto a su método la técnica se desenvolvió en una atmósfera de azar, de circunstancias carentes de entendimiento y comprensión por parte del hombre, y por ende fuera de su control. Por su parte la tecnología comprendió un proceso de construcción del conocimiento más elaborado, que se apropió del método de la Ciencia, lo cual implicó la experimentación bajo circunstancias conocidas, entendidas, controladas y dispuestas con un fin preciso; el Método Científico.

En la determinación de la pertinencia del proceso tecnológico sobre el técnico, debe considerarse cierta simbiosis con las dinámicas de configuración del producto, que para este caso se apoyó en las experiencias de Ulrich-Eppinger (2009), además de la respectiva contextualización al panorama nacional industrial de las PYMES. A partir de tres, componentes se configuró este proyecto (Técnica-Tecnología, desarrollo de producto, PYMES), cuyo objetivo consistió en la construcción de un instrumento para el análisis tecnológico de los procesos de desarrollo del producto en las pequeñas y medianas empresas, instrumento que implica altos grados de objetividad mediante una continua construcción de conocimiento tecnológico, a través de constantes procesos de selección y evaluación.

Metodología.

La construcción del marco conceptual del proyecto se realizó a partir de tres frentes primordiales:

- La técnica y la tecnología. Es pertinente el análisis epistemológico de las nociones de técnica y tecnología con el fin de establecer los parámetros que definieron la operación de cada una en particular, y su respectiva caracterización; lo que compone el grueso de la investigación.
- Los procesos de desarrollo de producto. Posteriormente se estableció una relación con las fases de desarrollo del producto, las cuales se configuraron a partir de la experiencia del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) BA, Argentina y las menciones acerca del tema de autores como Ulrich-Eppinger.

- El contexto industrial local. Como complemento fue necesario establecer las características del entorno industrial nacional, definiendo así sus particularidades y su comportamiento en la relación Metrópoli-Periferia como conclusión de la elaboración de una sólida estructura conceptual.

- Finalmente la Matriz (instrumento) de análisis tecnológico, se construyó, y correspondió a la relación entre las fases de desarrollo de producto y la tecnología, representada en las dinámicas del método científico principalmente. La relación se construyó desde las posibilidades económicas, logísticas y las necesidades de las PYMES como contexto industrial de la periferia. Como resultado se obtuvo cinco fases principales de desarrollo del producto con sus respectivas operaciones técnicas y tecnológicas, y sus parámetros de cuantificación, los cuales garantizaron la objetiva evaluación mediante un sistema de valores consecuente con las características técnicas y tecnológicas establecidas

Controversia y pertinencia de la tecnología en los procesos de desarrollo de producto.

Previo tratamiento del tema central, se evidenció cierta ambigüedad respecto al adecuado o inadecuado desarrollo de productos a través de la tecnología. Se puede afirmar que la mayoría de las estrategias para desarrollo de producto publicadas a nivel mundial son, de cierta forma, estrategias tecnológicas. Todas tienen componentes que se articulan, cuantifican, evalúan y generan resultados, configurados bajo las disposiciones del método científico. Entonces, si el desarrollo de productos a través de dinámicas tecnológicas es la alternativa para la construcción de una tecnología autóctona, ¿Por qué no es efectiva en la totalidad de los casos? La respuesta a este interrogante tiene múltiples y complejas variables fractales, de manera que se hizo énfasis en dos de ellas que llaman la atención: la creatividad, y lo que Bonsiepe (1978), denominó las problemáticas no estructuradas que hacen referencia a problemas o conflictos carentes de una explicación de orden científico, o por lo menos insuficientemente definidos. La inclinación de un individuo a la hora de seleccionar un producto sobre otro corresponde a una multiplicidad de situaciones (gusto, estado de ánimo, las particularidades del día a día, etc)... Toda creación humana (sea artística, industrial, lingüística y demás) es inherente al componente creativo, que comprende una considerable influencia en el desarrollo tecnológico de productos industriales y aquí es donde se configuró la divergencia. La tecnología comprende la parametrización y cuantificación de sus componentes y conocimiento en favor de una evaluación ulterior y la obtención de resultados

objetivables (herencia de la ciencia); pero se puede afirmar que la creatividad, o mejor, los procesos creativos y las problemáticas no estructuradas difícilmente pueden ser cuantificables.

Al diseñador industrial – del que se sospecha que es un individuo irracional – se le atribuyó la circunscripción de lo estético, de lo superficial, de lo no-técnico o de lo periféricamente técnico. Al ingeniero, en cambio, el campo de lo verdaderamente tecnológico y racional. Esta estéril dicotomía se fundamentó en un concepto del racionalismo positivista en el que la racionalidad figuró solo en tanto que cuantificación. Obviamente, el diseñador industrial es un solucionador de situaciones problemáticas no estructuradas y por lo tanto se avaló en métodos de trabajo no-cuantitativos en el tratamiento de aquellas dimensiones de un problema proyectual en el que los procedimientos cuantificadores tienen un límite y demuestra su inadecuación (Bonsiepe, 1978).

Para el interés de este artículo, la figura del diseñador industrial es irrelevante; pero la situación expuesta por Bonsiepe correspondió exactamente con uno de los obstáculos a los que se enfrenta el desarrollo de productos a través de la tecnología. Tal y como lo expresa el autor, la parametrización y cuantificación tienen un limitado alcance y sería demasiado pretencioso e inadecuado someter todas las variables que intervienen en el desarrollo de un producto bajo el yugo tecnológico. Por lo tanto, no solo los procesos creativos, sino las situaciones problemáticas no estructuradas, la percepción humana, el gusto y el rechazo, la estética y demás, pueden ser escasamente manipuladas a través de la tecnología. Existe una diferencia radical entre el desarrollo de un automóvil comercial y un vehículo lunar de transporte de ruedas. En aspectos tecnológicos la construcción de ambos es muy similar, y difieren en aspectos de su especificidad. En relación a sus desarrollos, los requerimientos que rigen la efectividad del vehículo lunar sólo están determinados por el cumplimiento de su función, de manera que es científicamente objetivable en su totalidad. Por su parte, el automóvil comercial comprendió una serie de requerimientos subjetivos referentes a las problemáticas no estructuradas mencionadas por Bonsiepe: la percepción humana, el contexto social, cultural, político, entre otros. Estas problemáticas deben ser solucionadas junto con sus requerimientos y, tal y como lo menciona el autor, no pueden ser remediadas desde la racionalidad de la cuantificación.

Aun así, en un panorama tan controversial e inadecuado para la tecnología, Bonsiepe destacó las virtudes de ésta en cuanto a su capacidad de proyectación, y sus facultades

para determinar y justificar la toma de decisiones, además de asegurar cierto grado de efectividad.

...De todos modos, con este relevo no se quiere negar la validez de una aproximación científica de la proyectación, (...) Tal aproximación, pese a todo, permite captar mejor la naturaleza del proceso proyectual, liberándolo de las escoras de la intuición, despersonalizándolo; en suma: objetivándolo. (...) Las finalidades de la proyectación científica son por una parte evitar un comportamiento errante, poniéndose, en cambio, al servicio de la finalidad precisa que hay que ir alcanzando gradualmente; por otra parte, motivar las decisiones proyectuales; es decir, dar explicaciones de por qué un proyecto ha llegado a determinadas soluciones y no a otras (Bonsiepe, 1978:145).

Desarrollo de una herramienta para el análisis de los procesos de desarrollo de producto en las Pymes mediante la construcción conceptual epistemológica de la técnica y la tecnología.

La transferencia y dependencia tecnológica entre los países industrializados (metrópoli) y los del tercer mundo (periferia) representan cierta impertinencia e inconveniencia tanto en la construcción de un conocimiento tecnológico autóctono, como en la implementación de ciertas dinámicas en las Pymes lo cual refuerza la necesidad de la construcción de una estrategia local que corresponda con el contexto de la industria de la periferia (Bonsiepe, 1978: 72),

“Un país subdesarrollado vive en un ambiente heteroprojectado, no autoprojectado, y este fallo de proyección está perpetuado por planes de estudio universitarios relativos a disciplinas técnicas que por lo general dan más importancia a la administración de la tecnología que a su creación y que son un espejo sin eufemismos de la dependencia económica: libros de texto extranjeros, finalidades educativas extranjeras, métodos de enseñanza extranjeros, ligados a las necesidades y los intereses de la metrópoli, con una ignorancia considerable de los intereses locales” (Bonsiepe, 1978: 72).

El proyecto se configuró:

- Alrededor de la información reportada por el DANE en el 2009, en Colombia existían 53.547 empresas catalogadas como PYME's, de las cuales el 75,6% reportaba como actividad económica el Comercio y los Servicios, y solo el 19,3% correspondía a actividades manufactureras. Debido a la marcada diferencia entre producción y comercialización, es posible suponer que las actividades del sector Comercio y Servicios se basó en importación de

patentes, licencias, maquinaria y productos terminados. Desde otra perspectiva, tal diferencia sugirió un amplio mercado de comercialización de producto terminado que posiblemente pudiera ser abastecido por la industria nacional con el fortalecimiento del sector manufacturero (DANE, 2009).

- Como referencia latinoamericana los estudios realizados por Nicolini (2007) y el INTI (Instituto Nacional de Tecnología Industrial) en Argentina, en relación con el desarrollo de producto en las PYME's
- Haciendo referencia a las PYME's manufactureras nacionales, el DANE mencionó diez problemáticas en las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (MIPYME's), en lo que el organismo llamó necesidades y fortalecimientos requeridos de la política del programa de MIPYME's. De tales problemáticas dos son de especial atención dentro del marco de este artículo: el acceso restringido a la tecnología, y la baja capacidad de innovación en investigación y desarrollo; puesto que aterrizan la conceptualización teórica de la técnica y la tecnología, y la metrópoli y la periferia en un contexto real
- La experiencia de Bonsiepe en Chile y la mención Gámez en Colombia frente a la transferencia y dependencia tecnológica. Así, es pertinente aventurarse hacia el objetivo de alcanzar la transformación de los procesos de desarrollo de productos mediante las dinámicas tecnológicas.

Hay que aclarar, que el objetivo del proyecto en esta instancia no es el de realizar dicha transformación. La herramienta desarrollada tiene como finalidad el análisis del grado de aplicación de las dinámicas tecnológicas dentro del desarrollo de productos ya existentes, y se detiene en tal nivel, de manera que en otra etapa sea posible realizar las modificaciones pertinentes.

Como respuesta a esta apuesta se configuró la *Matriz de Evaluación de Desarrollo de Producto Aplicada a Pymes*, una herramienta para el análisis del proceso de desarrollo de un producto estructurado a partir de la simplificación de la complejidad de la construcción de conocimiento a través del método científico como columna vertebral del desarrollo tecnológico. Dicha simplificación correspondió a las posibilidades económicas, logísticas e igualmente tecnológicas de las Pymes, de manera que estén en facultad de ejecutar las operaciones mínimas que les permitió enmarcar sus procesos dentro del desarrollo de productos tecnológicos, específicamente la construcción de conocimiento a través de la tecnología.

Estructura General de la Matriz.

La columna vertebral de la matriz se configuró a partir del método científico como primer y principal anclaje a la dinámica tecnológica. Se construyó mediante un paralelo entre dicho método y las fases de desarrollo de producto propuestas por el INTI en Argentina complementado con ciertos elementos de las propuestas, de Ulrich-Eppinger (2009) en su publicación *Desarrollo de productos* 4ta edición véase tabla 1.

Tabla 1. Relación entre las fases de desarrollo de producto y los componentes del método científico

Fases	Desarrollo de producto	Componentes método científico
DESARROLLO DE CONCEPTO	Definición estratégica Diseño de concepto Diseño en detalle	Reconocimiento de los hechos Descubrimiento y formulación del problema Selección de factores pertinentes Intención de hipótesis Traducción matemática Búsqueda de soportes empíricos y racionales
EXPERIMENTACIÓN O PRUEBA	Verificación y testeo	Diseño de la prueba Ejecución de la prueba Elaboración de resultados Inferencia de conclusiones
SÍNTESIS DE RESULTADOS	Disposición final	Comparación de conclusiones Reajuste del modelo Sugerencias acerca del trabajo ulterior

Fuente: Autores

Este paralelo permitió establecer un primer vínculo en la escala más general entre las fases del desarrollo de producto y los componentes del método científico. En la propuesta presentada por el INTI se consideraron 7 fases: Definición estratégica, Diseño de Concepto, Diseño en Detalle, Verificación y Testeo, Producción, Mercadeo y Disposición Final, de las cuales se suprimieron dos: la fase de Producción y la fase de Mercadeo, puesto que son prescindibles para el análisis de la particularidad de esta competencia. De las cinco fases resultantes tres corresponden a la etapa de Desarrollo de Concepto, una a la Experimentación y Prueba, y la otra a Síntesis de Datos. Cada una de las fases está compuesta por una serie de operaciones de diferentes niveles tecnológicos y en ciertos casos hasta inevitablemente técnicos, los cuales, a su vez, contienen dos tipos de elementos que las definen (en la mayoría de los casos) como tecnológicas o técnicas: los instrumentos (para el caso de la tecnología) y las herramientas (para el caso de la técnica).

Componentes de la Matriz

Las fases y las operaciones forman parte de los cinco componentes que contiene la matriz: las operaciones, se dividió en: tecnológicas, técnicas, y las definen los instrumentos o herramientas que contienen (véase figura 1).

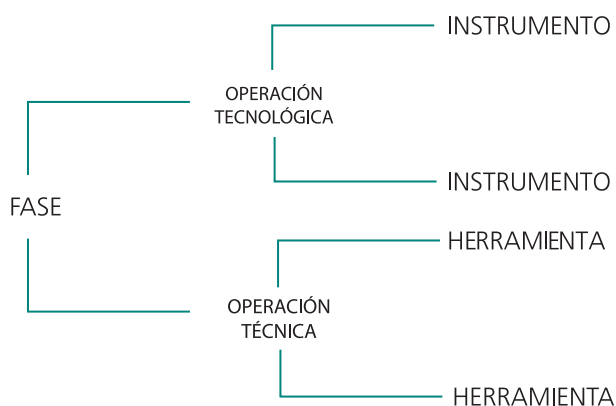


Figura 1. Componentes de la Matriz
Fuente: Autores

Fases

Las fases son los componentes más generales de la matriz. Corresponden a una etapa completa del desarrollo de un producto y contiene múltiples operaciones de cualquier tipo, al igual que diferentes instrumentos o herramientas. A pesar de contener ciertos elementos técnicos se consideró enteramente tecnológico y sus resultados son producto de la ejecución de las operaciones que las componen. La matriz está compuesta por cinco fases, cada una de ellas con un objetivo puntual, así:

- **Definición Estratégica:** identificar los factores clave (necesidades de los usuarios) y determinar la pertinencia y relevancia de cada una de ellas en favor de la configuración de las facultades del nuevo producto.
- **Diseño de Concepto:** seleccionar el concepto idóneo para desarrollar, a partir del análisis de la factibilidad, pertinencia y correspondencia con el usuario; mediante la revisión de múltiples alternativas.
- **Diseño en Detalle:** definir las propiedades físicas, químicas, cromáticas, y demás que correspondan con el nuevo producto.
- **Verificación y Testeo:** corroborar mediante la puesta a prueba el cumplimiento de los requerimientos, determinantes y objetivos establecidos en las fases anteriores.

- **Recolección de Experiencias:** establecer conclusiones del proceso a partir del análisis de las experiencias de los usuarios en relación con el nuevo producto.

Tipos de fases

Dependiendo de las operaciones y los objetivos de cada fase, se estableció cierta generalidad respecto al comportamiento que presentó. De esta manera se pudo identificar tres tipos de fases, agrupándose en lo que se denominó etapas:

- La etapa de sustentación correspondió a la primera fase del proceso. En ella se establecieron las directrices del proceso de desarrollo del producto. Su nombre proviene de sus facultades para sustentar las decisiones que se toman en las fases siguientes.
- La etapa de evaluación y selección es la fase 2. En ella se construyeron múltiples alternativas; y a través de una serie de filtros que evaluaron la factibilidad y pertinencia de cada alternativa, se estableció una selección final.
- Las etapas de evaluación y verificación son las fases 3, 4 y 5. Su finalidad es garantizar que el producto en desarrollo corresponda con los requerimientos, determinantes y objetivos planteados con anterioridad. Las fases 3 y 4 son de evaluación y verificación interna, antes que el producto sea comercializado; mientras que la fase 5 es externa, a partir de la experiencia de los usuarios que adquirieron el producto terminado.

Operaciones Tecnológicas

El éxito en la consecución de los objetivos de una fase radicó en la obtención y procesamiento de ciertos datos específicos de sí misma. Dicha obtención y procesamiento se realizó a través de las operaciones tecnológicas que lo componen. Según las formas de obtención de datos, los soportes racionales que las sustentó, los instrumentos de control que las determinó y la síntesis y elaboración de datos las operaciones tecnológicas tienen cinco diferentes valoraciones.

Los diferentes valores en los que se catalogó una operación se establecieron a partir de la consideración de ocho factores que la definen como tal. Cabe anotar, que las operaciones de otro tipo, es decir las técnicas tienen la misma configuración de las tecnológicas, pero se insertan dentro de las valoraciones 1 y 3 (véase tabla 2).

Tabla 2. Factores determinantes en la valoración de las operaciones

Operaciones valoradas	Grados inferiores		Grado Medio	Grados superiores	
Refiere a un proceso creativo	Muy bajo	Bajo			
Se basa en operaciones técnicas		Bajo	Medio		
Produce datos en bruto	Muy bajo	Bajo	Medio*		
Opera con instrumentos de control			Medio**	Alto	Muy Alto
Se basa en soportes racionales			Medio**	Alto	Muy Alto
Se basa en otras operaciones tecnológicas ≥ 5				Alto	
Se basa en otras operaciones tecnológicas ≥ 7					Muy Alto
Produce datos elaborados			Medio*	Alto	Muy Alto

* y ** sugiere que una de las dos puede o no cumplirse sin afectar el desarrollo de la operación.

Fuente: Autores

Las operaciones tienen valoraciones de 1, 3, 5, 7 y 9; desde Muy Bajo hasta Muy Alto respectivamente. Dicha valoración permitió determinar su grado tecnológico, y además una escala de desempeño según la rigurosidad con que se ejecutó cada operación; es decir, una operación de nivel 9 puede obtener una calificación de 1 si no cumple con las condiciones de su nivel.

Instrumentos y Herramientas.

Como se expuso en la construcción conceptual de técnica y la ciencia, las herramientas correspondieron a las operaciones técnicas; mientras que los instrumentos, a las operaciones tecnológicas, en representación de la ciencia.

Las herramientas son elementos menos elaborados, corresponden a las acciones que carecen de soportes racionales para sustentarse pero que son útiles en la relativa efectividad que representan para resolver, por ejemplo, las problemáticas no estructuradas mencionadas por Bonsiepe; y se encuentran estrechamente relacionados con procesos creativos.

Los instrumentos son elementos contruidos a partir de componentes tecnológicos o soportes racionales, los cuales, como su nombre lo indicó, sustentan o condicionan la pertinencia de su aplicación en determinadas etapas y los resultados que se deben obtener a partir de ellos.

Son estos los diferentes componentes que estructuró la matriz de evaluación de desarrollo de producto tecnológico aplicada a PYME's, desde la generalidad a la especificidad como entidades individuales encadenadas dentro del proceso tecnológico.

La interacción entre operaciones dentro de cada fase, y entre fases dentro de la matriz es la que permitió el desarrollo de un producto tecnológico.

Diagramación de la matriz.

Los componentes que estructuraron la matriz, convergen en cinco cuadros correspondientes a las cinco fases de desarrollo del producto. En los cuadros se evidenció cada operación, la herramienta o instrumento que la definió, el resultado que se obtuvo producto de su ejecución y la valoración tecnológica que le correspondió.

Fase 1: Definición estratégica. El conocimiento tecnológico, producto de esta fase, se construyó a partir de la sofisticación de las herramientas aplicadas en las primeras operaciones, hasta la definición y objetivación tecnológica de los instrumentos de las últimas. Constituyó, de cierta forma, un proceso de justificación constante a partir de la correspondencia de una fase con la que le precedió. Como resultado de la primera fase, se determinaron las variables que, a partir de la percepción del usuario, resultaron más relevantes en la configuración de un nuevo producto, que estableció los requerimientos para la siguiente fase. En la tabla 3 se presenta la definición estratégica de la fase 1.

Tabla 3. Fase 1: Definición Estratégica

Operación	Operación técnica de recolección de datos directamente de usuarios	Operación de recolección de datos indirectamente de usuarios	Operaciones tecnológicas de recolección de datos directamente de usuarios			Operación de síntesis
Herramienta o Instrumento	Atención al cliente, Buzón de sugerencias, Quejas y reclamos	Observación de uso	Entrevista	Focus Group	Encuesta	Tabla de jerarquización de variables
Resultado	Sugerencia de clientes	Relaciones Usuario-objeto, Usuario-situación, Usos extremos	Necesidades o situaciones de uso particulares	Necesidades o situaciones de uso generales	Relevancia de situaciones o necesidades	Jerarquización de variables
Valoración	1	5	7**	9	9	9

Fuente: Autores

Fase 2: Diseño y selección de concepto. Esta segunda fase se caracterizó por su contenido técnico, el cual se reflejó en cuatro operaciones con valoraciones menores o iguales que 5. A diferencia de la fase 1, consistió en la construcción de conocimiento a través de la justificación de cada operación superior en una de nivel inferior; esta segunda fase tiene una dinámica de evaluación y selección.

Por eso, dentro de su ejecución se permitió un número mayor de operaciones técnicas, pues el conocimiento tecnológico ya se estructuró por medio de operaciones de alto nivel; y, siendo su objetivo la evaluación y selección, no interfirió en la objetivación y justificación de los resultados de la fase 2. En la tabla 4, se presenta el, diseño y selección de concepto de la fase 2.

Tabla 4. Fase 2: Diseño y Selección de concepto

Operación	Para generación de ideas	Para búsqueda de referencias	Para filtrado de concepto		Para visualización e interacción	Para selección y evaluación de concepto
Herramienta o Instrumento	Lluvia de ideas	Consulta de patentes	Benchmarking	Tabla de filtrado de concepto	Bocetación	Maquetación
Resultado	Múltiples alternativas	Referencias de productos similares patentados	Referencia de procesos de desarrollo de productos	Primera selección de alternativas	Representa.	Jerarquización de variables
Valoración	1	3*	5	7	3**	9

Fuente: Autores

Fase 3: Diseño en detalle. En esta fase, debido a que se encarga de cuestiones de tipo científico y paramétrico, casi la totalidad de sus operaciones son objetivables y se encuentran justificadas por algún soporte racional que las definió como tecnológicas.

Además, aplicó instrumentos de verificación como los Modelos CAD y los de aspecto físico, que permiten traducir los ajustes identificados en la fase al producto en desarrollo de manera virtual o física. En la tabla 5 se presenta diseño en detalle de la fase 3.

Tabla 5. Fase 3: Diseño en Detalle

Operación	Definición de determinantes		Parametrización manual	Refinamiento por computador	Refinamiento físico
Herramienta o Instrumento	Consulta de normatividades	Consulta de tablas de ergonomía y percentiles antropométricos	Dibujo Técnico	Software CAD	Modelos de aspecto físico
Resultado	Determinantes de tipo legal	Determinantes de tipo ergonómico y antropométrico	Planos de construcción y ficha técnica de determinantes	Identificación de ajustes al producto	Identificación de ajustes al producto
Valoración	7	7	5	5*	5*

Fuente: Autores

Fase 4: Verificación y testeo. Esta fase se definió como la de mayor valoración tecnológica. A pesar de no contar con operaciones de síntesis de nivel 9, sus operaciones tienen un promedio mayor a 5, lo que le permitió de cierta forma estar definida tecnológicamente. Se trató de operaciones de evaluación y control, es decir, verificó que las decisiones tomadas a lo largo del proceso convergen en el producto que se está poniendo a prueba, de manera que se garantice

la máxima o total correspondencia con los parámetros establecidos. Como operación de evaluación y control, todos sus instrumentos están definidos mediante algún soporte racional, preferiblemente producto de operaciones o fases precedentes, ya que esta definición es la que garantiza la objetivación de los resultados de las evaluaciones. En la tabla 6, se presenta la verificación y testeo de la fase 4.

Tabla 6. Fase 4: Verificación y Testeo.

Operación	Análisis virtual		Análisis físico	Verificación
Herramienta o Instrumento	Software CAE	Prototipo	Prototipo	Observación de uso
Resultado	Análisis virtual funcional	Análisis funcional	Verificación de determinantes en prueba	Verificación de requerimientos en prueba
Valoración	5*	5	7	5

Fuente: Autores

Fase 5: Recolección de experiencias. La importancia de esta fase radicó en que sus resultados determinaron el rediseño del producto, y lo direccionó hacia puntos neurálgicos del desarrollo que se deben reformular. Cabe anotar, que el

proceso de desarrollo de producto es cíclico, de manera que en esta fase se debe considerar tanto la evaluación final del proceso como el punto de partida para uno nuevo. En la tabla 7 se presenta la fase 5: recolección de experiencias.

Tabla 7. Fase 5 Recolección de Experiencias

Operación	Recolección de experiencias técnicas directamente de usuarios	Recolección de experiencias indirectamente de usuarios	Recolección de experiencias tecnológicas directamente de usuarios			Síntesis de datos
Herramienta o Instrumento	Atención al cliente, buzón de sugerencias, quejas y reclamos	Observación de uso	Entrevista	FocusGroup	Encuesta	Tabla de jerarquización de deficiencias
Resultado	Sugerencias de usuarios	Aciertos y desaciertos en cumplimiento de requerimientos	Aciertos y desaciertos en cumplimiento de requerimientos	Aciertos y desaciertos en cumplimiento de requerimientos	Relevancia de aciertos y desaciertos en cumplimiento de req.	Jerarquización de deficiencias
Valoración	3	7	7**	9	9	9

Fuente: Autores

Conclusiones

La construcción conceptual de la tecnología, desde su configuración como forma de construcción y evolución del conocimiento, permitió identificar ciertos elementos que, a la luz de la aparente efectividad de las dinámicas técnicas, se diluyen o son inexistentes dentro de los procesos de

desarrollo de producto. De plano, es impertinente señalar que la técnica resulte inconveniente en el desarrollo de nuevos productos o la modificación de los ya existentes, puesto que aun en los procesos tecnológicos más avanzados y exitosos, ciertas nociones técnicas son necesarias para la consecución de algunos objetivos. Aun así, sí resulta inoportuno y en ocasiones dispendioso e ineficaz, depositar

todas las cuestiones que comprende la configuración de un producto en las capacidades de la técnica, o aun más crítico, hacer caso omiso de ellas o reemplazarlas por la copia de otro objeto.

Por el contrario, la concepción de nuevos productos dentro del marco tecnológico permite la constante transformación y evolución de este, en la medida en que se construye conocimiento alrededor del proceso. Es esta una facultad de la tecnología, puesto que sus dinámicas se constituyen a partir de la justificación de cada una de las decisiones tomadas a lo largo del desarrollo de un producto (soportes racionales), y además, la aplicación de instrumentos que, tal y como lo aseguraba Bonsiepe, evitan un comportamiento errante y disponen de los recursos y la información al servicio de una finalidad precisa que se debe ir alcanzando gradualmente.

Por lo tanto, la tecnología se estableció como el medio a través del cual el desarrollo de producto alcanza un mayor grado de optimización, en la medida en que existe una constante evaluación y verificación de los resultados parciales y globales a lo largo del proceso, lo que además facilita labores de rediseño y reformulación de conceptos.

En la práctica, la tecnología inunda todos los rincones de la vida cotidiana; y en las cuestiones de desarrollo de productos tiene una variedad abundante de consideraciones e implicaciones. Cada día son más las variables que se insertan en las dinámicas tecnológicas industriales; y los países industrializados que se encuentran a la vanguardia elaboran nuevas estrategias y procesos que corresponden con ese ritmo acelerado. Las metrópolis establecen sus propias metodologías a partir de su experiencia y sus posibilidades.

Es totalmente errático e ineficiente construir una tecnología a partir de la réplica de las propuestas elaboradas por la metrópoli. Por tales motivos, es necesario abordar la construcción de conocimiento tecnológico dentro de los procesos de desarrollo del producto desde la realidad de la periferia, un contexto industrial que actualmente está definido por prácticas técnicas y transferencia tecnológica, reflejada en la descontextualización y copia de productos extranjeros. Contexto que se estructura a partir de una abundante mayoría de pequeñas y medianas empresas o Pymes, cuyas posibilidades no pueden siquiera compararse con el poderío económico, logístico y de infraestructura que poseen las grandes industrias de los países del primer mundo.

A partir de este panorama se construyó la matriz de evaluación de desarrollo de producto tecnológico aplicada a Pymes, un instrumento tecnológico que pretende el establecimiento de una serie de fases en el desarrollo de un producto, y las respectivas operaciones que las componen junto con una dinámica de constante evaluación y justificación de decisiones, de manera que sea posible determinar el grado de construcción de conocimiento tecnológico alrededor de ese proceso, y a su vez determinar aquellas operaciones que presentan deficiencias y que podrían, en cierto momento, definir una errónea configuración de un producto terminado.

Todo lo anterior, a partir de una simbiosis entre las fases del desarrollo de un producto y los componentes del método científico, simplificando ambos sistemas hasta sus elementos mínimos, lo que garantiza de plano la construcción de conocimiento tecnológico.

Referencias.

- Bonsiepe, G. (1978) *Teoría y práctica del diseño industrial*. España: Editorial Gustavo Gili.
- Bunge, M. (1960) *La Ciencia. Su método y su filosofía*. Argentina. Ediciones Siglo XX
- Departamento Nacional de Planeación. (2009) Reporte Mipyme No.3 DANE
- Ladriere, J. (1977) *El reto de la racionalidad*. Salamanca. Ediciones Sígueme.
- Meijers, A. (2009) *Philosophy of technology and engineering sciences*. Volume 9. Elsevier
- Mitcham, C. *Thinking through technology. A path between engineering and philosophy*. University of Chicago.
- Nicolini, J. (2007) *Desarrollo de productos. Un análisis en PYME's*. Los Polvorines. Universidad de General Sarmiento.
- Ortega y Gasset, J. (1982) *Meditaciones sobre técnica y otros ensayos filosóficos*. Madrid. Alianza Editorial.
- Ulrich-Eppinger (2009). *Desarrollo de productos* 4ta Edición Mac Graw.Hill

Identificación de variables que afectarían la valoración de productos de las micro, pequeñas y medianas empresas dedicadas al desarrollo de software por encargo en Colombia

Identifying variables affecting product valuation for micro, small, and medium enterprises dedicated to custom software development in Colombia

Recibido 12-11-2013 Aceptado 30-05-2014

María Isabel Díaz Vega¹
Manuel Jose Ospina Ospina²

Resumen

El presente trabajo se realizó con el fin de identificar las variables (necesidades y factores) que podrían afectar la valoración de productos de las micro, pequeñas y medianas empresas (Mipymes) dedicadas al desarrollo de software por encargo en Colombia para los años 2014-2018. Dicha identificación se realizó de manera colectiva mediante un proceso de reflexión, concertación y aplicación de herramientas prospectivas. Se analizó el comportamiento de la industria de software en el país, que es relativamente reciente. El Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones actualmente impulsa nuevas estrategias para su fortalecimiento. Para desarrollar este trabajo se utilizaron herramientas metodológicas prospectivas, a fin de hacer un diagnóstico de la situación, identificar los actores implicados y revisar las tendencias pertinentes. Como herramientas se seleccionaron el taller de prospectiva estratégica y el método Delphi. Con base en los resultados obtenidos, se recomienda generar estrategias dentro de las Mipymes desarrolladoras de software por encargo que permita a dichas empresas: (1) aprovechar mejor el apoyo ofrecido por el gobierno por medio de las leyes de emprendimiento y algunos beneficios tributarios; (2) generar innovación que les permita volverse competitivas; (3) gestionar el conocimiento de tal forma que éste quede documentado y no se cometan los mismos errores del pasado; (4) revisar los modelos económicos actuales ya que estos son poco eficientes, lo que lleva a que muchas de estas empresas se vuelvan inviables financieramente; y (5) realizar adaptaciones tecnológicas acompañadas de transferencia tecnológica y capacitación del recurso humano, de tal forma que se permita una evolución en el tiempo de las compañías y del capital humano.

Palabras clave: Ingeniería de software; prospectiva tecnológica; método Delphi; estrategia; innovación; transferencia tecnológica; adaptación de tecnología.

Abstract

Variables (needs and factors) that could affect product valuation for micro, small, and medium enterprises (MSMEs) engaged in custom software development in Colombia during the period 2014–2018 were identified through a process involving reflection, consensus-building, and implementation of prospective

1. Colombiana Mcs en Ingeniería énfasis en Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana Cali, Colombia. e-mail midiaz@javerianacali.edu.co; maria_isabel_diaz33@hotmail.com;
2. Colombiano Mcs en Ingeniería énfasis en Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana Cali, Colombia.. e-mail. Parquesoft.. mjospina@javerianacali.edu.co; manuel.ospina@expertla.com.

analysis tools. The performance of Colombia's relatively recent software industry was analyzed. The country's Ministry of Information and Communications Technologies is currently promoting new strategies to strengthen this sector. Prospective analysis tools were used to analyze the situation, identify stakeholders, and review pertinent trends. The strategic prospective workshop and the Delphi method were selected as analytical tools. Based on the results obtained, recommendations are to generate strategies within MSMEs developing custom software that would allow these enterprises to (1) take better advantage of governmental support in terms of legislation promoting entrepreneurship and tax benefits; (2) generate innovation that would increase their competitiveness; (3) manage knowledge so it is properly documented so as to avoid making the same mistakes of the past; (4) revise current economic models whose inefficiency has led many MSMEs to lose their financial viability; and (5) implement technological adaptations accompanied by technology transfer and capacity building, allowing enterprises and their human capital to evolve over time.

Key words: Software engineering; technological prospective; Delphi method; strategy; innovation; technology transfer; technology adaptation.

Introducción.

El siglo XXI ha sido calificado como el de la era de la información y el conocimiento, gracias a la acción transversal de las Tecnologías de Información (TI), entre ellas el software; este se pudo aprovechar y desarrollar en diferentes nichos de mercado generando soluciones requeridas para cada sector (Ortega, s.f.).

El software es de gran importancia en las organizaciones para el control de sus procesos; y como factor fundamental para la competitividad y el gerenciamiento de las mismas permite la reestructuración empresarial necesaria para un mercado global en auge (Damodaran, 2006). Por esta razón, cada vez más empresas le apuestan a la adquisición de paquetes de software empresarial en versiones ajustadas a las necesidades, que las grandes compañías tecnológicas y micro, pequeñas y medianas empresas de la industria del software empiezan a ofrecer (Fedesot, 2011).

El software se desarrolla, no se fabrica. A diferencia de una gran industria que invierte en maquinarias, insumos y que comercializa en supermercados, tiendas especializadas o exhibe en vitrinas, la industria del software invierte en "cerebros"; su producto es intangible. Esta industria vende ideas, soluciones e innovación, y es motor y soporte de grandes industrias del país. Los costos del software se

encuentran en la ingeniería. Esto significa que los nuevos proyectos de software no se pueden gestionar como si fueran proyectos de fabricación. Requieren en promedio de 12 a 18 meses para su desarrollo dependiendo del programa. (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2008). El software sufre una curva de obsolescencia, lo que hace que requiera añadir continuas actualizaciones. La vida útil de un producto de software sin cambios puede ser de dos a tres años.

La industria del software es reciente en Colombia y presentó un crecimiento rápido con gran mercado potencial (Compatia, 2002). Una de las formas de fortalecer este sector es con investigaciones que ayuden a tener más elementos de juicio y tomar decisiones estratégicas. La composición de la industria del software en Colombia está dada así: el 92% en micro y pequeñas empresas, el 7% en medianas empresas y el 1% en grandes empresas (Ortega, s.f.). Por medio de alianzas estratégicas e intentos de conformar clústeres de tecnología en software, se han conformado muchas empresas nuevas en el sector, lo que ha llevado a un incremento en pequeñas y medianas empresas, con falencias como: falta de capacidad organizativa, dificultad para enfrentar al mercado, determinación inadecuada de los precios de sus productos, subvaloración de los servicios ofrecidos, lo que lleva a fuertes variaciones de éstas sin sustento en su valor agregado (Ortega, s.f.).

La creación del Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones tiene como objetivos diseñar, formular, adoptar y promover las políticas, planes, programas y proyectos del sector TIC, en correspondencia con la Constitución Política y la ley, con el fin de contribuir al desarrollo económico, social y político de la Nación. De igual forma se debe impulsar el desarrollo y fortalecimiento del sector de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, promover la investigación e innovación, buscar su competitividad y avance tecnológico conforme al entorno nacional e internacional. Este Ministerio cuenta con gran variedad de normas. Sin embargo, la denominada ley TIC es la Ley 1341 del 2009, por la cual se definieron principios y conceptos sobre la sociedad de la información y la organización de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones –TIC–, se crea la Agencia Nacional de Espectro y se dictan otras disposiciones.

La falta de modelos metodológicos de administración, financieros, costos y la falta de acceso a capitales, son las principales razones por las cuales han desaparecido muchas empresas pequeñas y medianas del sector. Estudios más recientes realizados por la empresa Expert Information (perteneciente a Parquesoft), demostró lo mismo, y dejó en

segundo lugar las condiciones de capital (Expert information, 2012). El sistema objeto de este estudio se definió por: “Las micro, pequeñas y medianas empresas dedicadas al desarrollo de software por encargo en Colombia”, debido a que la mayoría de las empresas de la industria del software son consideradas micro, medianas o pequeñas (96% de las empresas de Colombia son mipymes y generaron el 76% del empleo en Colombia) (Colciencias, 2009).

En la ejecución del presente proyecto se seleccionaron las siguientes herramientas de prospectiva: el método Delphi, y el taller de prospectiva estratégica. Gracias a dichas metodologías se logró identificar los factores importantes de mercado y la posible evolución de las micro, pequeñas y medianas empresas dedicadas al desarrollo de software por encargo en Colombia, para el periodo propuesto.

Las variables identificadas para las empresas de software por encargo contenido en el presente estudio, apuntan hacia la minimización de las principales debilidades del sector del software en Colombia, que afectó las micro, pequeñas y medianas empresas desarrolladoras, teniendo en cuenta las opiniones de los expertos del sector. Constituyó un comienzo en el proceso de mejoramiento continuo y progresivo en la búsqueda de los productos del software que van a satisfacer las necesidades actuales y futuras de los clientes y su evolución.

Resultados numéricos

Método Delphi

Consistió en preguntarle al grupo de expertos sus opiniones (juicios de valor basados en conocimiento, experiencia, imaginación, sentido común e intuición), acerca del comportamiento a futuro de un grupo dado de variables e indicadores con la finalidad de tener una idea lo más clara posible, de la situación futura descrita a través de los mismos. El método Delphi pretende maximizar las ventajas que presentan los métodos basados en grupos de expertos y minimizar sus inconvenientes. Se aprovechó la sinergia del debate en el grupo y se eliminó las interacciones sociales indeseables que existieron dentro de todo grupo.

De esta forma se espera obtener consenso lo más fiable posible del grupo de expertos (Parquesoft, 2011).

Taller de prospectiva estratégica.

El objetivo de los talleres de prospectiva fue el de iniciar y simular un tema específico con la ayuda de un grupo de expertos en el tema por analizar. Con la ayuda de los expertos que participaron en el taller se logró identificar y jerarquizar retos a futuro, para plantear acciones frente a ellos. “En prospectiva el término “taller”, es frecuentemente utilizado para designar sesiones organizadas de reflexión colectiva” (International Data Corporation, 2013)

Metodología.

De acuerdo con la naturaleza de cada uno de los momentos, las metodologías utilizadas se resumen en la tabla 1 (International Data Corporation, 2013).

Determinación de la muestra

En los ejercicios de prospectiva lo importante no es la cantidad de los participantes si no la gobernabilidad y experticia que estos tengan sobre el tema por tratar (International Data Corporation, 2013). Por lo anterior, no se determinó tamaños de muestra con base en análisis estadísticos. Se participó a las personas que se pudieran considerar como expertos. Los expertos se identificaron con ayuda de Fedesoft (Federación Colombiana de Software) quien remite la encuesta a todos los directivos pertenecientes a las empresas adscritas a la federación (Fedesoft, 2011).

Preguntas prospectivas - Taller de prospectiva estratégica

El primer paso para recolectar la información necesaria e identificar las variables que afectan el modelo de valoración de productos de las micro, pequeñas y medianas empresas dedicadas al desarrollo de software por encargo en Colombia, consistió en reunir a varios expertos relacionados con el sector del software y realizar una pequeña consulta con base en preguntas prospectivas. Las preguntas prospectivas que ayudaron a recolectar la información y a dinamizar la consulta fueron:

Tabla 1. Herramientas prospectivas y de valoración utilizadas.

Momento - Herramientas	Expertos que participaron	Modalidad
Recolección de la información-Taller de prospectiva	12	Presencial
Valoración de los expertos y Ajuste de la herramienta prospectiva Delphi-Primera encuesta Delphi	42	Uso de Tics
Desarrollo práctico-segunda encuesta Delphi	42	Uso de Tics

Fuente: Autores

- ¿Qué factores son relevantes para determinar el valor de los productos de las micro, pequeñas y medianas empresas desarrolladoras de software por encargo en Colombia, en los periodos comprendidos entre los años: 2014-2018?

- ¿Cuáles serán las necesidades para las micro, pequeñas y medianas empresas dedicadas al desarrollo de software por encargo en Colombia, en el periodo comprendido entre los años: 2014-2018?

Los resultados de este panel, no son conclusiones; ni siquiera una aproximación a las posibles respuestas. En este espacio se permitió que los expertos del sector del software identificaran las variables por estudiar (su definición, elementos que la componen y alcance), los actores que tienen relación con el tema de estudio y los factores que consideraban relevantes para determinar el valor de los productos de las micro, pequeñas y medianas empresas desarrolladoras de software por encargo en Colombia. Todas estas ideas aportadas por los expertos permitieron formular preguntas, que se utilizaron en la encuesta Delphi, como se explica a continuación, para tener una mejor aproximación a la solución de los interrogantes. En este espacio participaron expertos con trayectoria y gobernabilidad en el sector del software Colombiano.

Valoración de los expertos y ajuste de la herramienta prospectiva Delphi.

El objetivo del diligenciamiento de la encuesta Delphi no es solamente el de herramienta de recolección de información, sino, también el de medición de experticia de los participantes en esta investigación.

Es relevante tener mucha seguridad de que los expertos colaboradores poseen todos, la misma noción de este campo ya que independiente de los títulos o función a nivel jerárquico, estos deberían estar en la capacidad de encarar el futuro (International Data Corporation, 2013). Por consiguiente los expertos aportaron ideas que facilitaron la formulación de preguntas para la encuesta Delphi, las cuales permitieron realizar una medición de experticia de los expertos que participaron en el desarrollo de la investigación.

Primera encuesta Delphi

Una vez se analizaron los resultados del panel de expertos, se procedió a redactar todas las preguntas que conformaron la encuesta Delphi, basándose en los aportes de estos y en material bibliográfico del sector. Con la finalidad de tener una idea lo más clara posible de la situación futura descrita a través de las respuestas de los expertos, se elaboran

preguntas que permiten tener una visión con un horizonte de tiempo cercano teniendo en cuenta la dinámica y universalidad de la industria del software; estas preguntas tienen respuestas: precisas, cuantificables, independientes (Parquesoft, 2011) y sitúan al lector en el escenario: 2014-2018.

Con la finalidad de facilitar la tabulación y el análisis de la encuesta, se proporcionaron al experto las posibles respuestas a los interrogantes que se plantearon; no obstante, se les dio la opción abierta en cada una, con el fin de recopilar aportes adicionales de los expertos.

El tipo de pregunta que para la investigación era práctico y ayudó a recolectar una gran cantidad y tipo de información, es el que tuvo una opción matricial de respuesta -aquél donde se formuló una pregunta y el experto tiene la posibilidad de contestar en una matriz según los rangos que ha asignado quien elabora la pregunta-. Este tipo de respuesta en Matriz permitió medir cada una de las variables por evaluar en el periodo propuesto: 2014-2018. El tipo de preguntas del Delphi a utilizar hizo referencia a:

- La probabilidad de ocurrencia: Los expertos del sector del software contestaron según su criterio, donde asignan: 1, si consideran que era poco probable y 5 si consideran que era muy probable.
- El grado de importancia: los expertos del sector del software contestaron según su criterio, donde asignan: 1, si consideraban que era poco importante; y 5, si consideran que era muy importante.
- Las ponderaciones de las variables: los expertos del sector del software contestaron según su criterio, donde asigna 0, si consideraban que es la mínima ponderación y 100, si consideran que es la máxima ponderación.

Esta vez no solo se consultó a los expertos que participaron en el panel, sino, también a aquellos que por situaciones de lugar y tiempo, no lo hacen.

El cuestionario se acompañó con una nota de presentación que precisó el objetivo del Delphi, así como las condiciones prácticas del desarrollo de la encuesta (plazo de respuesta, garantía de anonimato).

Como es muy importante que realmente se consulten expertos, de tal forma que no afecten los resultados de la encuesta, se hicieron preguntas de verificación que permitieron medir si la persona que participó del Delphi realmente era un experto. Para determinar la veracidad con respecto a la trayectoria del experto se incluyeron dentro del Delphi cuatro preguntas para su identificación y preguntas de control que permitieron medir su experticia de tal forma que los datos fueran lo más verídicos posible.

Las preguntas que permitieron identificar directamente al experto y su competencia son: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 19. Adicionalmente todas las demás preguntas tenían la opción de no sabe para hacerle monitoreo constante.

Las preguntas que permitieron identificar los factores que determinaron el valor de los productos de las micro, pequeñas y medianas empresas desarrolladoras de software por encargo en Colombia son las número: 20, 21, 22.

Las preguntas que permitieron identificar las necesidades del mercado, para los productos que van a satisfacer esas necesidades y su evolución en un tiempo determinado de las micro, pequeñas y medianas empresas desarrolladoras de software por encargo en Colombia fueron las número: 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18.

Las preguntas del Delphi se ubicaron en un web site: www.encuestafacil.com y se hizo un foro en [googlegroups](https://www.google.com/groups) para que las personas hicieran las consultas del caso y se dio un plazo de 30 días hábiles para el diligenciamiento de la encuesta. En esta etapa participaron 42 expertos.

Una vez los expertos diligenciaron las encuestas, se procedió al análisis de la información. En esta etapa se tuvo en cuenta las recomendaciones suministradas por los expertos en la aplicación del Delphi, de tal forma que las recomendaciones se puedan incluir en la aplicación del segundo Delphi.

Desarrollo práctico.

Una de las ventajas del Delphi es la casi -certeza de obtener consenso en el desarrollo de los cuestionarios sucesivos, lo cual infortunadamente no siempre significa coherencia. La información recogida en el curso de la consulta acerca de acontecimientos, tendencias, rupturas determinantes en la evolución futura del problema estudiado, es generalmente rica y abundante. (Parquesoft, 2011)

Segunda encuesta Delphi

Se ajustó la encuesta Delphi incluyendo aquellas preguntas que recomiendan los expertos del sector del software en el primer Delphi, se enviaron los resultados y se consultó de nuevo al grupo de expertos.

Análisis de la encuesta Delphi

Para la realización del análisis de la encuesta realizada a los expertos sobre las tendencias y opiniones sobre el desarrollo de la industria del software se realizó una encuesta, la cual se distribuyó a personas de la academia vinculadas con ingeniería de software y a empresarios

afiliados a la federación colombiana de software FEDESOF. En el siguiente aparte se muestran los resultados obtenidos de la encuesta, y sus respectivos análisis agrupados por temas.

Ficha técnica

Objetivo de la encuesta: empresarios y académicos pertenecientes o que tienen relación con la Federación Colombiana de Software FEDESOF. Cantidad de encuestas contestadas: 42.

Primera parte: Identificación del experto

En esta sección se identificó la procedencia del experto, y a qué sector pertenece con el fin de determinar el grado de pertinencia de sus respuestas.

1. ¿Cuál es su ciudad origen?

En la tabla 2 se presentan los resultados de la pregunta 1

Tabla 2. Resultados pregunta 1

Ciudad origen	Respuestas	%
Bogotá	8	20%
Bucaramanga	3	7%
Buga	1	2%
Cali	17	41%
Medellín	9	22%
Palmira (Valle del Cauca)	1	2%
Tuluá	2	5%
Total	41	100%

Fuente: Autores

En esta distribución se ve un claro enfoque de los expertos en la ciudad de Cali, esto debido a la concentración de empresas de desarrollo de software que se encuentran en la ciudad.

2. ¿Cuál es su país de origen?

Todos los encuestados son colombianos, respondieron 42 que corresponden al 100%; sin embargo, no se validó dónde laboran actualmente.

3. De acuerdo con su conocimiento dentro de la industria del software, ubique cómo usted se autoevalúa. Por favor marque su respuesta. En la tabla 3 se presentan los resultados de la pregunta 3

Tabla 3. Resultados pregunta 3

Autoevaluación del conocimiento	Respuestas	%
Experto	21	50%
Conocedor	13	31%
Enterado	6	14%
Familiarizado	2	5%
Informado	0	0%
Total	42	100%

Fuente: Autores

De acuerdo con los resultados de esta pregunta se encontró que solo un 50% de los encuestados se consideró experto, y se tiene un 81% entre conocedor y experto, lo que es un nivel bastante bueno de conocimiento de los encuestados. En algunas preguntas adicionales, realizadas con posterioridad en la encuesta, se validaron los conocimientos para tener más certeza de esta información.

4. De acuerdo con su experiencia dentro de la industria del software, ubique el tiempo que lleva trabajando en esta industria. Por favor marque su respuesta, ver tabla 4.

Tabla 4. Resultados Pregunta 4

Experiencia en la industria del software	Respuestas	%
De 0 – 5 años	7	17%
De 6 – 10 años	8	19%
De 11 – 15 años	11	26%
Más de 15 años	16	38%
Total	42	100%

Fuente: Autores

De acuerdo con los resultados, un 64% de los encuestados tienen más de diez años de experiencia, lo que para este sector de software es bastante tiempo debido a su propia dinámica y al poco tiempo que lleva fortalecido en el mercado. Por las mismas razones expuestas, las personas que lleven más de cinco años en el medio pueden ser consideradas importantes y relevante su opinión.

5. De los sectores descritos a continuación, ¿A cuál pertenece usted actualmente? Por favor marque su respuesta (s). Las respuestas se presentan en la tabla 5.

Tabla 5. Resultados pregunta 5

Sector al que pertenece actualmente	Respuestas	%
Empresas desarrolladoras de software	25	44%
Empresas distribuidoras de software	6	11%
Empresas productoras de Software	11	19%
Academia	7	12%
Gobierno	1	2%
Otro (Por favor especifique)	7	12%
Total	57	100%

Fuente: Autores

En esta pregunta se evidenció que la mayoría de los participantes están relacionados directamente con la industria, ya sea como empresas de desarrollo de software de donde son la mayoría (44%), como productoras y distribuidoras; entre todas, suman el 74%.

Entre los que seleccionaron otros sectores se encontraron:

- auditor,
- comercializadoras,
- contratos directos,
- empresa de servicios,
- EPS,
- gremio de tecnología,
- telecomunicaciones,

Sin embargo, no son representativos y ninguno tiene más de una persona perteneciente a cada uno de estos.

6. ¿Qué cargo ocupa usted en su organización?. Los resultados se observan en la tabla 6.

Debido a que esta pregunta se realizó de manera abierta, se hizo necesaria la agrupación por tipos de cargo para poder contar con un dato que sea más útil para el estudio. En la tabla 7 se presentan los resultados.

De acuerdo con estos resultados, se encontró que el 42% de las personas entrevistadas ocupan cargos gerenciales, y un 29% cargos directivos, lo que hizo que la mayoría de los expertos consultados tengan gobernabilidad sobre las variables del estudio.

Tabla 6. Resultados pregunta 6

Cargo que ocupa en la organización	Respuestas	%
Analista de desarrollo	1	2%
Analista Líder	1	2%
Asesor	1	2%
Auditor Externo	1	2%
Auxiliar seguros de personas	1	2%
CEO	1	2%
Consultora	1	2%
Coordinador soporte al cliente	1	2%
Decano facultad de ingeniería	1	2%
Desarrollador	1	2%
Director	1	2%
Director de productos	1	2%
Director de proyectos	1	2%
Director ejecutivo	1	2%
Director general	1	2%
Docente	3	7%
Gerente	8	20%
Gerente de proyectos	1	2%
Gerente de SQA	1	2%
Gerente general	3	7%
Gerente general	1	2%
Ingeniero informático	1	2%
Jefe de sistemas corporativo	1	2%
Jefe soluciones informáticas	1	2%
Líder de proyectos	1	2%
Marketing	1	2%
Presidente	3	7%
Vicepresidente	1	2%
Total	41	100%

Fuente: Autores

Segunda parte: Identificación de tendencias del mercado

En esta sección se analizaron las tendencias que se puedan tener en el sector del software en cuanto al mercado.

7. ¿Cuáles consideran las razones principales por las que los usuarios requieren o usan los productos desarrollados por encargo de las micro, pequeñas y medianas empresas

de la industria del Software en Colombia? Califique de 0 a 5 donde 0 es sin importancia, y 5 muy importante. En la tabla 8 se presentan los resultados a la pregunta.

De acuerdo con estos resultados se observó que las razones consideradas más importantes, por las cuales los usuarios requieren o usan el software están en lo que es el soporte post venta; y el precio y la innovación son considerados como factores más bien indiferentes con importancia media para la mayoría de los consultados.

8. ¿Cuáles considera usted son los aspectos de mayor satisfacción o insatisfacción cuando los usuarios adquieren software por encargo en Colombia de acuerdo con las siguientes opciones? (Expectativas) Califique de 0 a 5 donde 0 sin satisfacción, y 5 mucha satisfacción. En la tabla 9 se pueden observar los resultados.

Tabla 7. Resultados agrupados pregunta 6

Desarrollador de Software	10%
Consultor	7%
Directivo	29%
Gerente	41%
Docente	7%
Otros	5%

Fuente: Autores

Tabla 8. Resultados pregunta 7

Razones principales	Poca importancia		Mucha importancia		Total
	0 = Nulo	1 - 2 = Bajo	3 = medio	4-5 = Alto	
Soporte postventa	0,00%	12,50%	18,75%	68,75%	100%
Innovación	0,00%	25,00%	62,50%	12,50%	100%
Conocimiento	0,00%	6,25%	43,75%	50,00%	100%
Confianza	0,00%	18,75%	12,50%	68,75%	100%
Precio	0,00%	0,00%	18,75%	81,25%	100%

Fuente: Autores

Tabla 9. Resultados pregunta 8

Aspectos	Poca importancia		Mucha importancia		Total
	0 = Nulo	1 - 2 = Bajo	3 = medio	4-5 = Alto	
Amplio portafolio de productos	0,00%	31,25%	43,75%	25,00%	100%
Innovación	0,00%	18,75%	68,75%	12,50%	100%
Presentación del producto	0,00%	13,33%	66,67%	20,00%	100%
Usabilidad	0,00%	12,50%	25,00%	62,50%	100%
Velocidad	0,00%	6,67%	33,33%	60,00%	100%
Precio	0,00%	6,25%	12,50%	81,25%	100%
Otro aspecto.	81,00%	0,00%	0,00%	18,75%	100%

Fuente: Autores

De acuerdo con los resultados obtenidos se encontró que muchos de los aspectos tienden a tener un comportamiento indiferente en la satisfacción de los clientes (con 3 de importancia) donde apareció de nuevo la innovación; sin embargo, se presentó aceptación del precio como factor de satisfacción.

9. ¿Cuáles considera usted son los aspectos de mayor o menor importancia cuando los usuarios seleccionan una empresa de desarrollo de software por encargo en Colombia de acuerdo con las siguientes opciones? Califique 0 a 5 donde 0 es sin importancia, y 5 mucha importancia. En la tabla 10 se puede observar la respuesta.

Tabla 10. Resultados pregunta 9

Aspectos	Poca importancia		Mucha importancia		Total
	0 = Nulo	1 - 2 = Bajo	3 = medio	4-5 = Alto	
Conocimiento	0,00%	0,00%	18,75%	81,25%	100%
Integración	0,00%	12,50%	31,25%	56,25%	100%
Respuesta	0,00%	6,25%	25,00%	68,75%	100%
Innovación	0,00%	6,25%	68,75%	25,00%	100%
Experiencia	0,00%	0,00%	12,50%	87,50%	100%
Estabilidad	0,00%	6,25%	25,00%	68,75%	100%
Costo/beneficio	0,00%	0,00%	12,50%	87,50%	100%
Soporte	0,00%	0,00%	6,25%	93,75%	100%
Otro aspecto	93,75%	0,00%	0,00%	6,25%	100%

Fuente: Autores

Con base en estos resultados se observó cómo los aspectos de soporte y conocimiento son considerados importantes; igual, la relación costo beneficio; mientras la innovación sigue siendo un factor indiferente. Adicionalmente, se pudo ver en segundo lugar, con calificaciones de 4 en importancia, cómo se tienen frecuencias altas de estabilidad y experiencia.

10. ¿Cuál considera usted es la importancia que podría llegar a tener los siguientes factores en las compañías de desarrollo de software por encargo en Colombia de acuerdo con las siguientes opciones en el periodo 2014 - 2018? Califique de 0 a 5 donde 0 es sin importancia y 5 mucha importancia (véase tabla 11).

Tabla 11. Resultados pregunta 10 para el periodo 2014 - 2018

factores	Poca importancia		Mucha importancia		Total
	0 = Nulo	1 - 2 = Bajo	3 = medio	4-5 = Alto	
El tamaño de la compañía	6,00%	25,00%	37,50%	31,25%	100%
El prestigio internacional	12,00%	31,25%	25,00%	31,25%	100%
El respaldo internacional	6,00%	43,75%	18,75%	31,25%	100%
La reputación que tenga en el mercado colombiano	0,00%	12,50%	12,50%	75,00%	100%
Que sea financieramente estable	0,00%	12,50%	18,75%	68,75%	100%
Brinde eficiencia en costos	6,00%	6,25%	12,50%	75,00%	100%
Cumpla con aspectos regulatorios	6,00%	6,25%	18,75%	68,75%	100%
Monitorear los resultados de desempeño en los servicios	6,00%	12,50%	31,25%	50,00%	100%
Que tengan políticas de responsabilidad social / desarrollo sostenible	0,00%	37,50%	18,75%	43,75%	100%
Que tengan certificaciones o calificaciones (ISO, CMM, CMMI, etc.).	0,00%	0,00%	31,25%	68,75%	100%
Otro aspecto	81,00%	0,00%	0,00%	18,75%	100%

Fuente: Autores

En estos resultados se observó, que de un total del 75% de los encuestados, la reputación que tenga en el mercado colombiano, la eficiencia en los costos de la compañía también son muy importante para los expertos su estabilidad financiera y las certificaciones que tengan aparecen con mayor importancia que en el periodo anterior.

11. ¿Cuáles considera usted son las áreas en las que las empresas invertirán más, de acuerdo a las siguientes opciones, en los años 2014- 2018, en Colombia? Por favor proporcione usted su estimación de 0 a 100. Tenga presente que la suma de las ponderaciones para cada periodo debe sumar 100 (véase la tabla 12).

Tabla 12. Resultados pregunta 11 para el periodo 2014 - 2018

Áreas por invertir	Menor inversión		Mayor inversión		Total
	0 = Nulo	1 - 40 = Bajo	41-79 = medio	80-100 = Alto	
Consultoría	0%	64%	14%	21%	100%
Outsourcing del sistema de información	7%	57%	7%	29%	100%
Servicios de procesamiento	7%	71%	14%	7%	100%
Outsourcing de aplicaciones	7%	50%	21%	21%	100%
Integración de sistemas	7%	43%	21%	29%	100%
Desarrollo de aplicaciones de software	14%	57%	14%	14%	100%
Soporte y mantenimiento de software	14%	57%	21%	7%	100%
Soporte y mantenimiento de hardware	14%	71%	7%	7%	100%
Consultoría e integración de redes	21%	57%	7%	14%	100%
Outsourcing de desktop y redes	14%	57%	14%	14%	100%
Educación y entrenamiento de tecnología de la información	14%	57%	7%	21%	100%
Otra área	93%	0%	0%	7%	100%

Fuente: Autores

En esta pregunta se encontró homogeneidad en los datos, ya que la mayoría tiene datos parecidos; sin embargo, se resaltan el outsourcing de sistemas, y la integración de sistemas como sobresalientes, aunque muy pocas personas los calificaron como tal; esto es una tendencia actual con las pequeñas empresas de software debido a la necesidad de prestar servicios complementarios en outsourcing de integración de productos de compañías más grandes.

12. ¿Cuál considera usted que serán los principales obstáculos en la comercialización de software en Colombia para las Mipymes de acuerdo con las siguientes opciones en el periodo 2014- 2018? Por favor proporcione usted su estimación de 0 a 100. Tenga presente que la suma de las ponderaciones para cada periodo debe sumar 100. En la tabla 13 se presentan los resultados a la pregunta.

Tabla 13. Resultados pregunta 14 para el periodo 2014 - 2018

Obstáculos	0 = Nulo	1 - 40 = Bajo	41-79 = medio	80-100 = Alto	Total
Piratería	8%	67%	25%	0%	100%
Política fiscal	0%	83%	8%	8%	100%
Telecomunicaciones	8%	83%	0%	8%	100%
Software libre	0%	75%	25%	0%	100%
Posicionamiento de marcas	8%	67%	25%	0%	100%
Otro obstáculo.	83%	0%	17%	0%	100%

Fuente: Autores

Según los expertos, la política fiscal seguirá siendo un impedimento; sin embargo, comienzan a aparecer tendencias como el software libre, una amenaza, si se piensa en la introducción progresiva de este en la industria.

13. ¿Cuáles considera usted que serán las principales tendencias del mercado con respecto a la demanda del software en Colombia para las Mipymes de acuerdo con las siguientes opciones en el periodo 2014 - 2018? Por favor proporcione usted su estimación de 0 a 100.

Tenga presente que la suma de las ponderaciones para cada periodo debe sumar 100. En la tabla 14 se presentan los resultados a la pregunta. Los expertos consideran como predominante el software para telecomunicaciones, sin embargo, la tendencia del mercado de las telecomunicaciones

es de oligopolio, lo cual es contradictorio con la afirmación de los expertos.

Tercera parte: Mercado Potencial

En esta sección de la encuesta se pretendió identificar el mercado potencial que pueden tener las empresas pequeñas de software de Colombia.

14. ¿Considera usted que las empresas desarrolladoras de Software por encargo en Colombia, podrían exportar sus productos en los años 2009-2014-2018? Califique de 0 a 5 donde 0 es nada probable, y 5 muy probable. En la tabla 15 se presentan los resultados a la pregunta.

Tabla 14. Resultados pregunta 15 para el periodo 2014 al 2018

Tendencias	0 = Nulo	1 - 40 = Bajo	41-79 = medio	80-100 = Alto	Total
Venta e Instalación de software	11%	78%	11%	0%	100%
Servicios de consultoría en Tecnología de la Información	11%	56%	33%	0%	100%
Desarrollo de software a la medida	0%	67%	11%	22%	100%
Implantación de software	0%	56%	33%	11%	100%
Soporte de sistemas	11%	44%	44%	0%	100%
Capacitación en tecnología de la información	0%	67%	22%	11%	100%
Integración de sistemas	22%	44%	11%	22%	100%
Gerencia de proyectos	11%	44%	44%	0%	100%
Venta / instalación hardware	33%	33%	33%	0%	100%
Outsourcing de tecnología	11%	44%	33%	11%	100%
Procesamiento de datos	22%	56%	22%	0%	100%
Telecomunicaciones	11%	33%	33%	22%	100%
Arrendamiento de software	22%	33%	44%	0%	100%
Arrendamiento de Hardware	33%	33%	33%	0%	100%
Otra tendencia.	78%	11%	0%	11%	100%

Fuente: Autores

Tabla 15. Resultados pregunta 19 para el periodo 2014 -2018

	Poco probable		Muy probable		Total
	0 = Nulo	1 - 2 = Bajo	3 = medio	4-5 = Alto	
Exportaciones					
Exportación de productos de empresas productoras de Software por encargo en Colombia	0,00%	7,69%	53,85%	38,46%	100%
Desarrollo práctico-Segunda encuesta Delphi	42	Uso de Tics			

Fuente: Autores

En este período se presentó probabilidad de exportación de software por encargo, con una concentración muy alta entre calificaciones de medio y alto.

15. ¿Cuáles considera usted son las cinco empresas más importantes de desarrollo de software en Colombia? (en orden descendente de importancia).

Esta es una pregunta de validación para saber cuál es el conocimiento de los expertos sobre el mercado actual del software. De acuerdo con esto se encontró que efectivamente las empresas propuestas por los expertos son empresas grandes del sector y plenamente reconocidas en el medio. Estas fueron:

1. PSL Software
2. Open Systems
3. Softbolivar
4. Heisonh
5. Parquesoft

16. ¿Cuál tipo de empresas considera usted que puede llegar a monopolizar el mercado de Software por encargo en Colombia de acuerdo con las siguientes opciones en el periodo 2014 - 2018? Por favor dé su estimación de 0 a 100. Tenga presente que la suma de las ponderaciones para cada periodo debe sumar 100. En la tabla 16 se presentan los resultados a la pregunta.

Tabla 16. Resultados pregunta 21 para el periodo 2014 - 2018

Tipo de empresas	0 = Nulo	1 - 40 = Bajo	41-79 = medio	80-100 = Alto	Total
Multinacionales extranjeras	0%	73%	18%	9%	100%
Grandes empresas colombianas	18%	55%	27%	0%	100%
Mipymes colombianas	18%	64%	18%	0%	100%
Sector público colombiano	36%	64%	0%	0%	100%
Otro tipo de empresa.	64%	27%	0%	9%	100%
Otro obstáculo.	83%	0%	17%	0%	100%

Fuente: Autores

En esta pregunta se encontró un posible tipo de empresa que pudiera monopolizar el sector del desarrollo de software; sin embargo, se encontraron datos muy parejos entre grandes empresas colombianas, multinacionales extranjeras y mipymes colombianas, lo que hace concluir de acuerdo con los expertos no se presentará monopolio en este sector.

Cuarta Parte: Políticas Públicas

En esta sección de la encuesta se indagó sobre la opinión de los expertos de las políticas públicas adoptadas y por adoptar, por parte del gobierno en Colombia.

17. ¿Cuáles estrategias considera usted que se deben implementar en Colombia para el fortalecimiento del sector del software de las Mipymes de acuerdo con las siguientes opciones en el periodo 2014- 2018? (Departamento Nacional de Planeación). Por favor dé su estimación de 0 a 100. Tenga presente que la suma de las ponderaciones para cada periodo debe sumar 100. En la tabla 17 se presentan los resultados a la pregunta.

Tabla 17. Resultados pregunta 22 para el periodo 2014 - 2018

Estrategias	0 = Nulo	1 - 40 = Bajo	41-79 = medio	80-100 = Alto	Total
Internacionalización del sector de software y de los servicios asociados	0%	45%	27%	9%	82%
Fortalecimiento de la productividad del sector software y servicios asociados	0%	45%	27%	27%	100%
Posicionamiento en el mercado interno	0%	45%	27%	9%	82%
Innovación	0%	36%	18%	18%	73%
Fortalecimiento del gremio	0%	45%	27%	18%	91%
Creación de un centro de desarrollo nacional de software	0%	45%	27%	9%	82%
Otra estrategia	0%	18%	0%	0%	18%
Gerencia de proyectos	11%	44%	44%	0%	100%
Venta / Instalación Hardware	33%	33%	33%	0%	100%
Outsourcing de tecnología	11%	44%	33%	11%	100%
Procesamiento de datos	22%	56%	22%	0%	100%
Telecomunicaciones	11%	33%	33%	22%	100%
Arrendamiento de Software	22%	33%	44%	0%	100%
Arrendamiento de Hardware	33%	33%	33%	0%	100%
Otra tendencia	78%	11%	0%	11%	100%

Fuente: Autores

Para este periodo se denota un interés por el empoderamiento de la productividad, y hay empoderamiento del gremio en segundo lugar, lo cual ya se viene haciendo en Colombia.

18 ¿Cuáles acciones, considera usted, que se deben implementar en Colombia para el fortalecimiento de la industria de desarrollo de software de acuerdo con las siguientes opciones en el periodo 2014 - 2018? (Departamento Nacional de Planeación). Por favor Califique de 0 a 5 donde 0 es sin importancia, y 5 mucha importancia. En la tabla 18 se presentan los resultados a la pregunta.

En este periodo se consideró importante el bilingüismo, y apareció como segundo lugar el capital humano para investigación. Adicionalmente, los expertos consideraron que las políticas públicas, deben estar orientadas a tener

un mejor acceso a los recursos de financiación, y a ajustar instrumentos normativos y regulatorios, lo cual es coherente con otras preguntas ya que los expertos consideraron importante lo que tiene que ver con acceso a capitales y pago de impuestos

Quinta Parte: Valoración de producto

En esta parte se indagó a los expertos sobre los diferentes métodos de estimar en los proyectos y, así mismo, saber cuáles son los valores más usados para éstos.

19. De los siguientes procesos de desarrollo de software califique de 0 a 5, su conocimiento sobre ellos, donde 1 es no lo conoce, 2 sé que existe, 3 está familiarizado, 4 lo conoce, y 5 es un experto.

En la tabla 19 se presentan los resultados a la pregunta.

Tabla 18. Resultados pregunta 23 para el periodo 2014 - 2018

Acciones	0 = Nulo	1 - 2 = Bajo	3 = medio	4-5 = Alto	Total
Acceso a recursos de financiamiento	0,00%	10,00%	20,00%	70,00%	100%
Conectividad	0,00%	20,00%	10,00%	70,00%	100%
Desarrollo de las comunicaciones	0,00%	20,00%	30,00%	50,00%	100%
Infraestructura- Equipamiento	0,00%	50,00%	40,00%	10,00%	100%
Infraestructura- Servicios públicos	0,00%	50,00%	30,00%	20,00%	100%
Infraestructura- Vial y de transporte	0,00%	70,00%	20,00%	10,00%	100%
Bilingüismo	0,00%	0,00%	10,00%	90,00%	100%
Capital Humano para la investigación	0,00%	10,00%	10,00%	80,00%	100%
Formación capital humano-aptitudes básicas	0,00%	10,00%	50,00%	40,00%	100%
Formación capital humano competencias laborales	0,00%	0,00%	40,00%	60,00%	100%
Generación de empleo	0,00%	0,00%	30,00%	70,00%	100%
Innovación, transferencia y adaptación de tecnologías	0,00%	10,00%	0,00%	90,00%	100%
Ajustes e instrumentos normativos y regulatorios	0,00%	30,00%	10,00%	60,00%	100%
Racionalización de procesos y trámites	0,00%	40,00%	30,00%	30,00%	100%
Otra acción	90,00%	0,00%	0,00%	10,00%	100%

Fuente: Autores

Tabla 19. Resultados pregunta 24 para el periodo 2014 - 2018

Procesos	1= No lo conozco	2= Sé que existe	3= Estoy Familiarizado	4= Lo conozco	5= Soy un experto	Total
RUP	7,69%	15,38%	23,08%	53,85%	0,00%	100%
MSF	30,77%	15,38%	15,38%	38,46%	0,00%	100%
Xtrem programming	0,00%	23,08%	15,38%	61,54%	0,00%	100%
Scrum	30,77%	7,69%	23,08%	30,77%	7,69%	100%
Otro proceso de desarrollo.	0,00%	0,00%	0,00%	15,38%	7,69%	23%

Fuente: Autores

En esta pregunta se denota que hay carencia de expertos en diferentes metodologías de desarrollo, y aunque estas son conocidas, según los datos, ninguna de las personas entrevistadas se considera experta en el tema.

opciones en el periodo 2014- 2018? Por favor dé su estimación de 0 a 100. Tenga presente que la suma de las ponderaciones para cada periodo debe sumar 100. En la tabla 20 se presentan los resultados a la pregunta.

20. ¿Cuál proceso de desarrollo de software considera usted que puede llegar a utilizar en la industria de software por encargo en Colombia de acuerdo a las siguientes

Tabla 20. Resultados pregunta 25 para el periodo 2014 - 2018

Procesos	0 = Nulo	1 - 40 = Bajo	41-79 = medio	80-100 = Alto	Total
RUP	11%	67%	11%	11%	100%
MSF	22%	67%	11%	0%	100%
Xtrem programming	0%	56%	22%	22%	100%
Scrum	33%	44%	11%	11%	100%
Otro proceso de desarrollo.	67%	11%	11%	11%	100%
Otro obstáculo.	83%	0%	17%	0%	100%

Fuente: Autores

Durante el periodo, los expertos consideraron más predominantes: *Xtrem programming* y *Rational Unified Process* (RUP).

21 ¿Cuál considera usted que puede llegar a ser la forma de proteger el software contra piratería y plagio en el mercado

de software por encargo en Colombia de acuerdo con su metodología y las siguientes opciones en el periodo 2014-2018? Por favor dé su estimación de 0 a 100. Tenga presente que la suma de las ponderaciones para cada periodo debe sumar 100. En la tabla 21 se presentan los resultados a la pregunta.

Tabla 21. Resultados pregunta 25 para el periodo 2014 - 2018

Forma de protección	Estimación
Invierte en seguridad para que sus sistemas no sean copiados	21%
Invierte en derechos de autor	33%
Vende el desarrollo con fuentes incluidas	14%
Otra forma de protección.	32%

Fuente: Autores

Entre las formas de protección contra la piratería hay mucho énfasis en los derechos de autor, y en su totalidad los expertos consideraron otras formas de protección; sin embargo, las descritas en otros fueron: protección mediante hardware y cambiar el modelo de licenciamiento, de la cual el primero puede ser catalogado como seguridad para evitar copias.

22. ¿Cuáles factores diferentes los costos considera usted que son importantes a la hora de determinar el precio de su producto de acuerdo con las siguientes opciones en el periodo 2014- 2018? Por favor Califique de 0 a 5 donde 0 es sin importancia, y 5 mucha importancia. En la tabla 22 se presentan los resultados a la pregunta.

Tabla 22. Resultados pregunta 25 para el periodo 2014 - 2018

Factores	0 = Nulo	1 - 2 = Bajo	3 = medio	4-5 = Alto	Total
Tipo de cliente	0,00%	25,00%	62,50%	12,50%	100%
Prestigio y credibilidad de su empresa	0,00%	25,00%	12,50%	62,50%	100%
Impacto y responsabilidad asociada al proyecto	0,00%	12,50%	25,00%	62,50%	100%
Competencia en el mercado	0,00%	0,00%	50,00%	50,00%	100%
Otro factor	75,00%	0,00%	0,00%	25,00%	100%
Otro obstáculo	83%	0%	17%	0%	100%

Fuente: Autores

Para este periodo los expertos consideraron como factores importantes en su orden: el impacto y responsabilidad asociado al proyecto, el prestigio y credibilidad de la empresa, competencia en el mercado; y de menos importancia: el tipo de cliente, aunque tiene más peso en este periodo que en el anterior.

Resultados.

Con los resultados de la consulta a expertos, elaborada por medio del taller de prospectiva estratégica y del Delphi, se determinaron variables pertenecientes al mercado y factores internos y externos del sector del software en Colombia que pueden incidir en determinar un precio adecuado del producto, en las micro, pequeñas y medianas empresas dedicadas al desarrollo de software por encargo en Colombia, para el periodo propuesto: 2014-2018.

Encuestas Delphi.

Como resultado de las encuestas Delphi, se pudo identificar las variables relevantes en la valoración de productos en las micro, pequeñas y medianas empresas dedicadas al desarrollo de software por encargo en Colombia, para el periodo de tiempo propuesto: 2014-2018. En la tabla 23 se enumeran dichos aspectos.

Conclusiones.

El estudio y la identificación de las variables que afectan el sector del software en Colombia, debe permitir realizar un diagnóstico consensuado de las problemáticas y riesgos que enfrenta el sector debido a la falta de modelos metodológicos de administración, financieros, costos y la falta de acceso a capitales.

De acuerdo con los resultados con respecto a la identificación de tendencias del mercado para el periodo 2014-2018 se puede concluir:

- Las razones consideradas más importantes, por las cuales los usuarios requieren o usan el software son: el soporte posventa, precio e innovación; estos dos últimos considerados como factores indiferentes con importancia media por la mayoría de los consultados.
- Aspectos como soporte y conocimiento son considerados importantes, así como la relación costo beneficio.
- La reputación que tenga la compañía en el mercado colombiano, la eficiencia en los costos de la compañía, la estabilidad financiera y las certificaciones, también son aspectos relevantes determinados por los expertos.
- En las áreas en las que las empresas invertirán más se resaltó el outsourcing de sistemas, y la integración de sistemas.

- La participación de las empresas colombianas desarrolladoras de software cada vez será menor, lo que llevaría a pensar: que los expertos no consideran un crecimiento de estas; o en la introducción progresiva de grandes sistemas de información producida en el extranjero.

Tabla 23. Variables relevantes para el periodo 2014-2018. En las micro, pequeñas y medianas empresas dedicadas al desarrollo de software por encargo en Colombia.

Aspecto relevantes identificados
Soporte postventa del producto
Precio del producto
Conocimiento que tiene la compañía
Estabilidad de la compañía
Experiencia de la compañía
Soporte técnico que ofrece la compañía
Eficiencia en los costos de la compañía
Cumplimiento de los aspectos regulatorios de la compañía
Reputación de la compañía en el mercado Colombiano
Outsourcing
Integración de sistemas
Obstáculo de la política fiscal
Obstáculo de posicionamiento de las marcas
Obstáculo de la piratería
Obstáculo software libre
Software para telecomunicaciones
Exportación de productos de empresas productoras de software por encargo en Colombia
Acceso a recursos de financiamiento
Conectividad
Desarrollo de las comunicaciones
Infraestructura- Equipamiento
Infraestructura- Servicios públicos
Infraestructura- Vial y de transporte
Bilingüismo
Capital humano para la investigación
Formación capital humano-aptitudes básicas
Formación capital humano competencias laborales
Generación de empleo
Ajustes e instrumentos normativos y regulatorios
Racionalización de procesos y trámites
Innovación
Transferencia tecnológica
Adaptación de tecnología

Fuente: Autores

- La política fiscal seguirá siendo un impedimento; sin embargo, comienzan a aparecer tendencias como el software libre como una amenaza, si se piensa en una introducción progresiva de éste, en la industria.
- Las principales tendencias del mercado con respecto a la demanda del software en Colombia, consideran como predominante el software para telecomunicaciones; sin embargo, la tendencia del mercado de las telecomunicaciones es de oligopolio, lo cual es contradictorio con la afirmación de los expertos.
- La principal forma para realizar la distribución del software en Colombia, denota la tendencia clara que tienen las empresas pequeñas del sector en vender sus productos directamente, y más si son desarrollados a la medida: asimismo se piensa en una tendencia creciente con el software empaquetado, lo que es dicente ya que es la evolución de la venta directa de sistemas de información al empaquetamiento de estos.

De acuerdo con los resultados con respecto a la identificación del mercado potencial mercado para los años 2014-2018 se puede concluir:

- Se presenta probabilidad de exportación de software por encargo, con una concentración muy alta entre calificaciones de medio y alto.
- Se encontraron datos muy parejos entre grandes empresas colombianas, multinacionales extranjeras y Mipymes colombianas, lo que hace concluir que de acuerdo con los expertos no se presentará monopolio en este sector.

De acuerdo con los resultados con respecto a la identificación de políticas públicas para los años 2014-2018 se puede concluir:

- Para este periodo se denota un interés por el fortalecimiento de la productividad, y hay un fortalecimiento del gremio en segundo lugar, lo cual ya se viene haciendo en Colombia.
- En este periodo se considera muy importante el bilingüismo y aparece como segundo lugar el capital humano para investigación. Adicionalmente, los expertos consideran que las políticas públicas deben estar orientadas a tener un mejor acceso a los recursos de financiación, y a ajustar instrumentos normativos y regulatorios lo cual es coherente con otras preguntas ya que los expertos consideran importantes lo que tiene que ver con acceso a capitales y pago de impuestos.

De acuerdo con los resultados con respecto a la valoración del producto para los años 2014-2018 se puede concluir:

- Se denota que hay carencia de expertos en diferentes metodologías de desarrollo, y aunque éstas son conocidas según los datos ninguna de las personas entrevistadas se considera experta en el tema.
- Los expertos consideran que los procesos de desarrollo de software más predominantes son *Xtrem programming* y *Rational Unified Process* (RUP).
- Entre las formas de protección contra la piratería hay mucho énfasis en los derechos de autor, y en su totalidad los expertos consideraron otras formas de protección; sin embargo, las descritas en otros fueron: protección mediante hardware y cambiar el modelo de licenciamiento, de la cual el primero puede ser catalogado como seguridad para evitar copias.
- Los expertos consideran que los factores importantes en su orden diferente de los costos son: el impacto y responsabilidad asociada al proyecto, el prestigio y credibilidad de la empresa y la competencia en el mercado; y de menos importancia el tipo de cliente, aunque tiene más peso en este periodo que en el anterior.

En cuanto a la metodología utilizada se pudo evidenciar cómo:

- El uso de las TICs facilita la participación de los expertos a través de los diferentes momentos ya que rompe la barrera de lugar y tiempo.
- El Delphi parece un procedimiento simple, que no necesariamente obtiene opinión consensuada, pero coloca en evidencia varios grupos de respuestas para el análisis de puntos de convergencia múltiples. Sin embargo, resultó largo y poco motivante para los participantes, por lo cual, a medida que se avanzaba en la investigación, se contaba con menos participación de expertos.
- El taller de prospectiva estratégica requiere no solo de compromiso de los participantes; también, de alta inversión en tiempo y desplazamientos, por lo cual, a medida que se avanzaba en la investigación se contaba con menos participación de expertos.
- Se requiere de recursos para motivar a los expertos a participar en investigaciones que requieren de compromiso y utilización de tiempo personal. Por consiguiente, se recomienda la verificación del presente estudio a futuro, invirtiendo recursos que motiven a los expertos para lograr su participación activa y constante a través de los diferentes momentos.

Referencias

Asociación Nacional de Industrias Financiera. (2012). *Gran Encuesta Nacional PYME*, Primer semestre 2012. Recuperado de <http://anif.co/sites/default/files/uploads/GranEncuesta%20II-2012.pdf>

Colombia Departamento Administrativo de Ciencia Tecnología. (2009). *Plan Estratégico Programa Nacional de Electrónica Telecomunicaciones e Informática*. COLCIENCIAS p. 7.

Colombia Departamento Nacional de Planeación, “*Agenda Interna Para la Productividad y la Competitividad, Documento Sectorial Software*” DNP, p. 22-24

Colombia Ley 1341. (2009). Secretaria del Senado. *Ley 1341*. Recuperado de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=36913>

COMPATIA.(2002) *El papel fundamental de la industria del software en el crecimiento económico*. Compatia

Damodaran, Aswath. (2006) *Dealing with Intangibles: Valuing Brand Names, Flexibility and Patents*, Stern School of Business.

Expert information. (2012). *Análisis estratégico sector de software*. Documento Interno. Colombia . Recuperado de <http://www.expertla.com>

FEDESOF. (2011). *Unidad de Investigación. “Análisis de Mercado*. 2011”.Fedesoft

Godet, M. (1995). *La caja de herramientas de la prospectiva estratégica*. Marcombo S.A. España.

International Data Corporation. (1999). *Estudio sobre el sector del software*. Colombia. Recuperado de <http://www.idccolombia.com.co>.

Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. Dirección de Productividad y Competitividad. (2011). “*Diagnóstico de las TI en Colombia*. 2011”

Ministerio de comercio industria y turismo. (2008). *Desarrollo del sector TI como uno de clase mundial*. Colombia.

Ortega, F. (s.f.) *La Prospectiva: Herramienta indispensable de planteamiento en una era de cambios*. Recuperado de <http://www.ovtt.eu/prospectiva.jsp>.

Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España. (2005). “*Notas Sectoriales. El Sector del Software en Colombia*.”

Parquesoft. “*Estudio sobre creación y liquidación de empresas en el sector de software*”. Documento Interno. Recuperado de internet <www.parquesoft.com>.

Pulido A. Perez J. (2009). *Modelos Económicos*. Madrid: Ediciones Piramide, 2001. p. 25

Economía circular como marco para el ecodiseño: el modelo ECO-3

Circular economy as an ecodesign framework: the ECO III model

Recibido: 21-11-2013 Aceptado: 25-05-2014

Catalina Hermida Balboa C.¹
Manuel Domínguez Somonte²

Resumen

Se analizó la situación actual del ecodiseño y su relación con la economía circular, proponiéndose para tal fin un modelo filosófico interrelacional: el modelo ECO-3. El modelo constituyó un nuevo enfoque, propuso una respuesta al actual problema medioambiental global ante la falta de recursos y los modelos productivos con costes energéticos cada vez más elevados. Asimismo, se presenta como una nueva cultura empresarial, laboral e investigadora en un sistema de innovación industrial y tecno-científica. El modelo conectó todos los puntos y estableció: las conexiones y sinergias entre la economía circular, el ecodiseño, la urbanización sostenible y las esperanzas, sueños y necesidades prácticas de los ciudadanos.

Palabras clave: modelo ECO-3; economía circular; ecodiseño; diseño sostenible; filosofía de la cuna a la cuna; diseño regenerativo; economía; ecología industrial; economía azul; biomímesis; permacultura; ecosistemas triple-E; sostenibilidad; urbanización sostenible.

Abstract

The current status of ecodesign and its relationship with circular economy are analyzed and an inter-relational philosophical model, ECO III, is proposed. This model takes on a new approach, proposing a response to current global environmental problems in view of the lack of resources and production models with increasing energy costs. The model also serves to introduce a new organizational and research culture as part of a system for industrial and technical-scientific innovation. The proposed model interconnects all system components and establishes connections and synergies between circular economy, ecodesign, sustainable development, and citizens' hopes, dreams, and practical needs.

Keywords: ECO-3 model, circular economy, eco-design, sustainable design, Ezio Manzini, cradle to cradle, C2C, regenerative design, performance economy, industrial ecology, blue economy, biomimicry, permaculture, eco-innovation, eco-efficiency, eco-intelligence, triple-E system, sustainability, sustainable urbanization.

¹ Española, Ingeniero en Diseño Industrial. Alumna, máster universitario en Ingeniería del diseño. Escuela de Ingenieros Industriales. Universidad Nacional de Educación a Distancia - UNED.

² Español. Doctor Ingeniero Industrial. Profesor, máster universitario en Ingeniería del Diseño. Escuela de Ingenieros Industriales. Universidad Nacional de Educación a Distancia-UNED

Introducción

La cumbre de Río de 1992 constituyó un hito histórico respecto al estudio de la variable medioambiental en el ámbito económico-empresarial; en ella se definió el concepto de “desarrollo sostenible”, ratificado por 180 países.

El modelo de “economía circular” recibió varias denominaciones entre las que se encuentran: “economía de la cuna a la cuna” o “economía de bucle cerrado”; sus principales defensores insistieron en que no se debía considerar como un movimiento ecológico, sino como una forma de pensar distinta, una filosofía del diseño (Ellen Macarthur, 2013). Uno de los principales propulsores Ezio Manzini, planteó el diseño sostenible como un enfoque filosófico del diseño de carácter más social, en el que se tuvieron en cuenta factores como: el ambiente, la cultura, los procesos de producción, los materiales, su uso y los aspectos posteriores a su vida útil. Planteó el papel del diseñador no sólo como creador de productos, sino también de escenarios cotidianos, así como nuevas ideas de bienestar (Manzini y Bigues, 2000).

El ecodiseño, se tomó como una herramienta necesaria para la fabricación de productos y servicios eficientes, sostenibles, socialmente responsables y competitivamente diferenciados; se analizó: la interrelación entre conceptos/herramientas, donde la economía circular constituyó el marco del trabajo, en el que se desarrolló el ecodiseño como un modelo circular integral donde confluyeron diversas filosofías: las diferentes fuentes en las que se inspiró la economía circular, desde las filosofías primitivas que se inició en los años 70 como la “permacultura” hasta las más actuales como la “economía azul”.

Inspiración: modelos de pensamiento de la economía circular

De la Cuna a la Cuna (Cradle to Cradle o también denominada C2C). En los noventa, McDonough (arquitecto estadounidense) y Braungart (químico alemán) desarrollaron la filosofía de diseño, que consideró los materiales involucrados en los procesos industriales y comerciales como nutrientes, clasificándolos en: técnicos y biológicos. Este modelo se centró en el impacto positivo que generó los flujos de productos, a diferencia del enfoque tradicional centrado en la reducción de los impactos negativos. La idea base se inspiró en la transformación de la biosfera como modelo para el desarrollo de la transformación del flujo de los procesos industriales, en la tecnosfera. Para ciertos productos, la durabilidad no es la estrategia óptima puesto que terminan en la basura o son difícilmente recuperables mediante reciclaje: es preferible diseñar bienes de consumo

de tal manera que la pureza del material se mantenga y sus componentes sean fácilmente regenerados o devueltos a la tierra (McDonough, 2007).

El modelo de diseño C2C representó la aplicación de la economía circular al mundo del diseño y la producción industrial. Planteó las bases de un nuevo paradigma de diseño inteligente basado en el cierre del ciclo de vida de los productos, tal y como ocurre en la naturaleza (McDonough y Braungart, 2003).

McDonough y Braungart, por encargo de la ciudad de Hannover (sede de la Exposición Mundial año 2000), elaboraron los “Principios de Hannover” que rigieron: el diseño, construcción, el entorno, de la exposición y que representaron un desarrollo sostenible para la ciudad, la región y el mundo entero. Estos principios son válidos para cualquier dimensión de la creación humana; defienden: el diseño, la construcción y la producción industrial, se pueden mantener dentro de los procesos de la naturaleza, utilizando materiales inocuos, más eficientes, y produciendo bienes sin generar residuos o elementos tóxicos que degraden el medio (McDonough y Braungart, 2007). En la figura 1, se presenta el diagrama de los Principios de Hannover para la sostenibilidad.

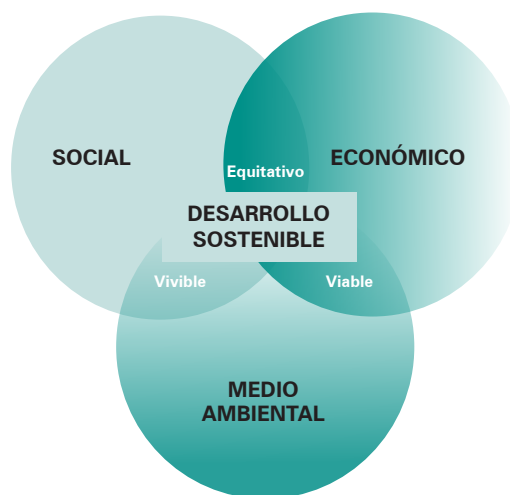


Figura 1. Diagrama de los principios de Hannover para la sostenibilidad

Diseño Regenerativo (Regenerative Design). Esta filosofía la planteó John T. Lyle (profesor Universidad P. de Pomona, California), a raíz de un trabajo educativo postuló, que cualquier sistema, partiendo de la agricultura, se puede organizar de forma regenerativa, emulando el funcionamiento de los ecosistemas, donde los productos se crearon e interaccionan sin producir residuos (Lyle, 1994). El objetivo del desarrollo sostenible es continuar creciendo (sin provocar daño al entorno), mientras que el objetivo del diseño regenerativo es crear sistemas humanos que no tengan que ser desechados.

Economía del Rendimiento (*Performance Economy*). Walter Stahel, arquitecto y analista industrial, planteó la visión de una economía en bucles y el consecuente impacto en la creación de empleo, competitividad económica, ahorro de recursos y prevención de residuos (Stahel, 2010).

En el 2013, Stahel, fundó el **“Product-Life Institute”** (Instituto de la Vida del Producto), considerado como uno de los principales foros dedicados a la sostenibilidad. Sus principales objetivos fueron: extender la vida del producto, plantear bienes de larga duración y actividades de reacondicionamiento y prevenir la producción de residuos. Del mismo modo, incidieron en la economía de servicios: aumentar la importancia de la venta de servicios en lugar de productos.

En 1989, Robert Frosch y Nicholas Gallopoulos, ante la insostenibilidad de los procesos productivos crearon el modelo **Ecología Industrial** (*Industrial Ecology IE*), que contribuyó a la consecución del desarrollo sostenible.

El concepto se tomó como modelo productivo de los ecosistemas naturales, donde la industria funcionó como un organismo que se relacionó con otros, estableció relaciones sostenibles de energía, productos y servicios, como también conexiones (similares a la red alimentaria en la ecología), entre los diferentes operadores del ecosistema industrial base para el estudio de los flujos de materiales y las energías. Se conoce como la ciencia de la sostenibilidad, por su carácter interdisciplinario y porque sus principios se pueden aplicar también para los servicios. Creció rápidamente como disciplina, su posición industrial y científica se fortaleció con las nuevas apariciones: en 1997 del *Journal of Industrial Ecology*. En el 2001, con la Sociedad Internacional de Ecología Industrial, foro interdisciplinario de científicos naturales y sociales, ingenieros, diseñadores de políticas y los profesionales; y en el 2004, el *Journal Progress in Industrial Ecology*.

En el 2012, el economista belga Gunter Pauli, impulsó el modelo **Economía Azul** (*The Blue Economy*), cuyo paradigma se inspiró en la tierra, con puntos en común entre los modelos de la Cuna a la Cuna y la Biomímesis (Pauli, 2010). El modelo rechazó la actitud elitista de la economía verde que ofreció productos ecológicos que respetaron el medioambiente pero sólo eran accesibles a una élite con alto poder adquisitivo y poco sostenible. Los emprendedores y consumidores tenían acceso a la economía azul de forma sostenible, siendo competitivos, sostenibles e innovadores. El enfoque insistió en soluciones determinadas por su entorno local y características físicas y ecológicas. Defendió el olvido en perseguir un único beneficio, y el aprovechamiento de forma innovadora de los beneficios derivados del proceso de producción y de las fuentes de ingresos que existieron a lo largo del proceso productivo (no sirve la especialización, ni

las economías de escala) (Pauli, 2012). Con esta disciplina se diversificó el riesgo y abarataron los costes del subproducto o la eliminación de residuos, que se convirtieron en oportunidades de negocio para emprendedores.

En el 2012 Janine Benyus, presidenta del Biomimicry Institute, definió el modelo **Biomímesis** “*Biomimicry*”, como el estudio de las mejores ideas de la naturaleza, tomando como base los mecanismos artificiales, sintetizó los procesos naturales resolviendo de este modo problemas humanos. La Biomímesis es una innovación inspirada por la Naturaleza, en un mundo biomimético, se originó por los animales y las plantas, empleando la energía solar y compuestos simples para fabricar fibras totalmente biodegradables, materiales cerámicos, plásticos y productos químicos. El modelo se basó en tres principios fundamentales:

- la naturaleza como modelo (estudió y emuló las formas, procesos, sistemas y estrategias como ejemplos de resolución),
- la naturaleza como medida (utilizó un estándar ecológico para cuantificar la sostenibilidad de las innovaciones) y
- la naturaleza como mentor (cuyo valor se basó en lo que se puede aprender de ella) (Benyus, 2003).

A finales de los años 70, Mollison y Holmgren, ecologistas australianos definieron el modelo **Permacultura** (*Permaculture*), como el diseño consciente y mantenedor de ecosistemas agrícolas productivos. Los ecosistemas poseen la diversidad, estabilidad y resistencia de los ecosistemas naturales, que imitando las interrelaciones encontradas en los patrones de la naturaleza son capaces de producir para satisfacer sus necesidades, sin explotar recursos o contaminar, siendo sostenibles a largo plazo.

La permacultura, disciplina de diseño, aplicó e integró ideas y conceptos de innovaciones modernas (teoría de sistemas, biocibernética, sistemas agroforestales...), de la agricultura de conservación (ausencia y compactación de suelos, cubiertas permanentes del suelo...), de la agricultura orgánica (reciclaje de nutrientes), y de la agricultura tradicional (infiltración del agua de lluvia) mejorando el rendimiento y la calidad del suelo, reduciendo el consumo de elementos externos y protegiendo la biodiversidad (Mollison, 2005).

En 1989, K. Robèrt, investigador del cáncer ante la realidad de que los seres humanos están destruyendo su entorno natural, planteó los principios fundamentales para invertir la situación y creó el **El Paso Natural** (*The Natural Step o TNS*), organización implementada en una docena de países que agrupó a: científicos, expertos y empresas comprometidas con la investigación, la educación y el asesoramiento para el desarrollo sostenible. Aportó herramientas de análisis integrado, criterios de diseño y métodos de planificación

y gestión para construir paso a paso un futuro mejor. El modelo propuso varios principios socio-ecológicos para alcanzar desarrollo sostenible basado en: las leyes de la termodinámica, las sustancias extraídas de la litosfera y las sustancias producidas por nuestra sociedad que no deben acumularse ni ser deterioradas de forma sistemática en la ecosfera, la utilización de los recursos que debe ser eficaz y coherente respecto a las necesidades humanas.

El modelo **Capitalismo Natural** (*Natural Capitalism*), propuesto por el ecologista P. Hawken, el físico A. Lovins y la socióloga H. Lovins, es una crítica al capitalismo industrial tradicional, reconoció principalmente el valor del dinero y los bienes de capital mientras que el Capitalismo Natural reconoció al capital natural y al capital humano; es decir se planteó el paso de la economía de consumo a la de los servicios y reinvertió los beneficios obtenidos en garantizar la conservación de los recursos naturales, lo cual constituyó una guía y un marco de actuación para que los futuros negocios saquen provecho de la responsabilidad ambiental y social. La transición al capitalismo natural implicó cuatro cambios básicos en las prácticas de negocio (Hawken Lovins, 2000):

- Aumentar la productividad natural de los recursos a través de cambios tanto en el diseño como en la tecnología para aprovechar los recursos naturales. Este ahorro de recursos proporcionó mayores ganancias, se amortizó con el tiempo, e incluso en muchos casos redujo la inversión del capital inicial necesario.
- Cambio a un modelo de producción inspirado biológicamente, se buscó no sólo disminuir los residuos, sino también eliminar del mismo el concepto de desecho. En los sistemas de producción de ciclo cerrado, cada *output* se devolvió al ecosistema como nutriente o bien se convirtió en un *input* para fabricar otro producto.

• Avanzó hacia un modelo de negocio basado en soluciones; el modelo de fabricación tradicional residió en la venta de bienes. En cambio, el nuevo modelo se sustentó en el flujo de servicios, esto conllevó una nueva percepción del valor de los bienes como la continua satisfacción de calidad, utilidad y funcionalidad.

• Reinvertir en capital natural; el negocio repuso, sostuvo, y expandió los ecosistemas del planeta, para producir servicios y recursos biológicos más abundantemente.

Economía circular

La economía circular es una filosofía de organización de sistemas inspirada en los seres vivos, que persiguió el cambio de una economía lineal (producir, usar y tirar) cada vez más difícil de implementar por el agotamiento de los recursos hacia un modelo circular y regenerativo, tal y como ocurre en la naturaleza y que además supone una gran oportunidad en el ámbito empresarial. Sus aplicaciones prácticas, tanto en sistemas económicos como en procesos industriales, han ido en aumento progresivo en los últimos años. La figura 2 muestra la comparación entre economía lineal y economía circular.

Su aplicación residió en diseñar productos sin desechos (ecodiseño), productos que facilitaron su desmonte y reutilización, así como en definir modelos empresariales socialmente inteligentes (Goleman, 1999), para que los fabricantes pudieran económicamente recoger, los productos y volver a fabricarlos y distribuirlos.

Para alcanzar el objetivo, el modelo dividió los componentes de los productos en dos grupos:

- Nutrientes biológicos son biodegradables, se introducen en la naturaleza después que su valor de uso ya no sea rentable.

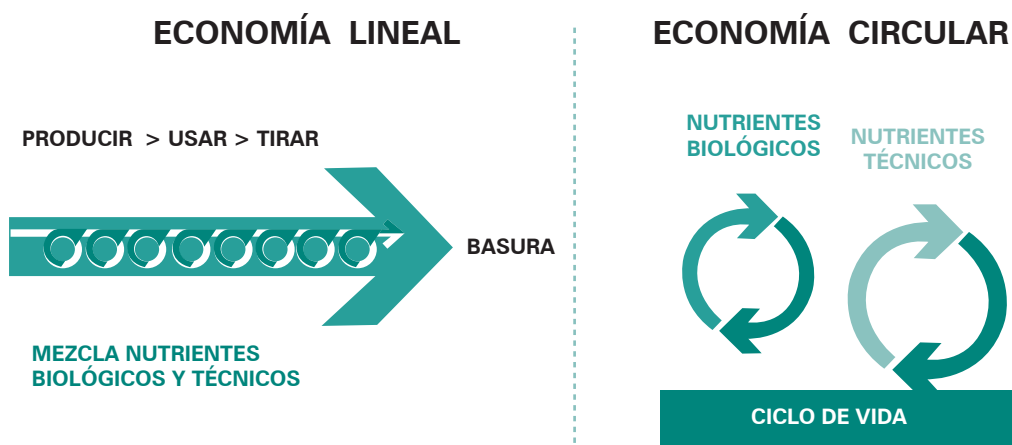


Figura 2. Comparación entre economía lineal y economía circular

Fuente: Ellen Macarthur Foundation 2013

- Los componentes técnicos de los productos se diseñaron para poder ser ensamblados y desmontados un gran número de veces, y favorecer la reutilización de materiales y el ahorro energético (Ellen Macarthur Foundation, 2013).

La filosofía de diseño de la Cuna a la Cuna representó la aplicación de la economía circular al mundo del eco-diseño y la producción industrial. En la figura 3, se presenta el diagrama del modelo de economía circular.



Figura 3. Diagrama del modelo de economía circular
Fuente: Ellen Macarthur Foundation (2013)

El concepto de economía circular viene de diversas fuentes referentes de ecointeligencia. La **ecointeligencia** es la capacidad de vivir tratando de dañar lo menos posible a la naturaleza, consistió en comprender las consecuencias que tuvo sobre el medio ambiente, las decisiones que se toman día tras día e intentar, en lo posible, elegir las más beneficiosas para la salud del planeta (Ramírez, y Galán, 2012).

La **economía circular** se basó en los siguientes principios:

- Desperdicios versus alimentos: desapareció el concepto de basura o residuo. Los productos se desmontaron una vez que dejaron de ser útiles, y sus componentes (biológicos) volvieron a formar parte de los ciclos naturales o industriales (técnicos) con un consumo mínimo de energía. Los nutrientes biológicos compuestos por materiales totalmente biodegradables, regresaron a la naturaleza sin problemas para ser integrados en los procesos naturales; los nutrientes técnicos (principalmente polímeros o aleaciones) pueden ser reutilizados de manera sencilla y poco costosa en términos energéticos.
- La diversidad fortaleció los sistemas naturales más resistentes y resilientes: son los ecosistemas que están compuestos por una mayor diversidad de organismos

y de interacciones entre los mismos. En el ámbito económico aplicaron una filosofía similar, para mejorar las respuestas a crisis económicas y productivas.

- Sistema de interrelaciones: los elementos del sistema están altamente interrelacionados muestran entre ellos, relaciones no lineales; cuando se diseñó el sistema se tuvo en cuenta las interrelaciones internas y externas de los elementos que lo componían.
- Reconceptualización del modelo de propiedad: la economía circular apostó por el nuevo modelo en el que la tecnología se alquiló por la empresa productora al usuario. El fabricante/productor mejoró cada cierto tiempo el producto utilizando/reutilizando los componentes de los aparatos que van quedando obsoletos.
- Energías renovables como fuente de energía, ocurre en la naturaleza; toda la energía procedió de fuentes que se van renovando con el paso del tiempo. La economía circular apostó por la sustitución de los combustibles fósiles y nucleares, por energías renovables.
- Precios verdaderos: los precios reflejaron el coste real del producto para favorecer un consumo racional.

En la economía circular existen tres niveles básicos de acción:

- Primer nivel: la organización buscó mayor eficiencia a través de las 3R: reducir el consumo de recursos y emisiones de residuos; reutilizar los recursos, y reciclar los componentes.
- Segundo nivel: se reutilizaron y reciclaron los recursos dentro de parques eco-industriales e industrias encadenadas, de tal manera que circularon totalmente en el sistema de producción local.
- Tercer nivel: se integraron diferentes sistemas de producción y consumos locales, los recursos circularon entre las industrias y los sistemas urbanos. Este nivel requirió el desarrollo local de sistemas de recolección, almacenaje, procesado, y distribución, por producto.

El esfuerzo en los 3 niveles influyó en: el desarrollo de recuperación de recursos, empresas de producción más limpia, y facilidades públicas. Esto produjo un incremento de la dimensión del desarrollo económico a través de la inversión en nuevas empresas; por tanto, la economía circular ofreció nuevas oportunidades empresariales. Un ejemplo de este nivel de tipo regional podría ser la integración de la gestión de flujos entre sistemas de recuperación urbanos, suburbanos, y rurales: las bio-refinerías (utilizando biomasa descartada de fuentes rurales y urbanas) que podrían convertir estos recursos en bioenergía, y biomateriales, otro ejemplo fue el Eco-Industrial Park de Kalundborg, en Dinamarca (Ehrenfeld y Gertler).

ECODISEÑO

La evolución del mercado global, y la demanda cada vez más exigente de los clientes ha generado la necesidad de implementar políticas y normativas para lograr el objetivo de **desarrollo sostenible**.

El ecodiseño es la **metodología para el diseño de productos industriales** en el que el medioambiente se tuvo en cuenta durante el proceso de desarrollo del producto como un factor adicional a los que tradicionalmente se utilizó para la toma de decisiones. Martin Charter (director del The Centre for Sustainable Design, lo explicó del siguiente modo:

“Las tendencias internacionales están demostrando que los conceptos y herramientas como el Diseño para el medio ambiente, Análisis del Ciclo de Vida y Responsabilidad Extendida de los Productores están aquí para quedarse. Están rápidamente convirtiéndose en herramientas clave para las organizaciones proactivas. Más aún, un creciente cuerpo de evidencias sugiere que este tipo de aproximaciones son excepcionalmente avanzadas para proporcionar un rango de beneficios por encima y más allá de los beneficios ambientales y el simple cumplimiento” (Tukker, Charter y Vezzoli, 2008).

El ecodiseño permitió obtener **oportunidades comerciales**, así como hacer frente a las amenazas externas. Es decir, permitió: reducir costos de producción, el consumo de productos y recursos, optimizar la calidad y aumentar la vida útil de los productos, seleccionar recursos más sostenibles o con menor consumo energético, buscar la utilización de tecnologías más limpias, y minimizar los costes de manipulación de residuos y desechos y, al mismo tiempo, hizo frente a la normativa gubernamental y atendió a las presiones de los consumidores, entre otros. Por tanto, el eco-diseño permitió **reducir** los distintos **impactos ambientales** de un determinado producto/servicio a lo largo de todo su ciclo de vida.

Desde hace algún tiempo, se están usando modelos para analizar el **ciclo de vida ACV (LCA)** de los flujos de materia y energías de un producto o proceso; ello ha dado lugar al nacimiento y proliferación de gráficos y diagramas circulares necesarios para evaluar el impacto medioambiental dentro del sistema analizado. El análisis del ACV permitió detectar eficazmente oportunidades de mejora ambiental de todo el sistema (empresa, proveedores, distribuidores y usuarios); es una herramienta básica en la toma de decisiones para el ecodiseño, selección de las mejoras técnicas disponibles, diseño sostenible, etc.

Asimismo en el concepto de ciclo de vida (entendido como el conjunto de etapas de la vida útil de un producto hasta la gestión final de sus residuos) el producto no es el destino final, sino un estado temporal de materia y energía

con el fin de proporcionarnos un servicio.

Existen dos **tipos de metodologías de ACV**, dependiendo de la metodología aplicada.

Análisis del Ciclo de Vida cualitativo: Poco preciso, barato, fáciles de aplicar y no requirieron de grandes conocimientos de ecodiseño. Proporcionaron una visión general de los impactos ambientales del producto y mostraron las cuestiones ambientales más importantes sobre las cuales hay que tomar medidas. Uno de los más comunes fue la matriz MET.

Análisis del Ciclo de Vida cuantitativo: Estandarizado por la ISO (ISO 14040:2006), constituyó el método óptimo para aplicar a productos, procesos o actividades; sin embargo, es caro y de compleja aplicación. Estudió los aspectos ambientales y los impactos asociados del producto a lo largo de su ciclo de vida; se pudo identificar de este modo las fases más críticas y sus principales problemas y con base a ello elegir las soluciones que representen el menor impacto posible. También se deben nombrar los ecoindicadores, los cuales permiten obtener resultados numéricos de fácil interpretación para evaluar los requisitos medioambientales, frente a los complejos análisis que requieren otros resultados cualitativos.

Aunque el ecodiseño se pudo innovar tanto en sistemas como en productos, se propusieron soluciones más sencillas, con resultados a corto plazo. Dependiendo del objetivo marcado por la empresa se pudo distinguir cuatro **niveles** de aplicación del **eco-diseño** y por tanto cuatro tipos de resultados diferentes:

- Nivel 1. Mejora del producto: mejora progresiva e incremental.
- Nivel 2. Rediseño del producto: nuevo producto sobre la base de otro existente.
- Nivel 3. Nuevo producto en concepto y definición: innovación radical del producto.
- Nivel 4. Definición de un nuevo sistema: innovación radical del sistema.

La mayoría de empresas ya han orientado su política ambiental hacia un planteamiento global (tomando la economía circular) que contempló los flujos energéticos y de materiales entre el sistema productivo y su entorno; y percibió la variable medioambiental como una **oportunidad estratégica** para obtener ventajas competitivas (Ramírez, 2012).

En julio del 2011 se publicó la norma internacional ISO 14006:2011 “Directrices para la incorporación de ecodiseño”, la primera norma internacional de gestión medioambiental que integró aspectos propios del diseño, la evaluación de los

impactos en el medioambiente de los productos diseñados, y la gestión y tratamiento de dichos impactos dentro de una organización. Su objetivo es ayudar a las organizaciones en su gestión del ecodiseño como parte de un sistema de gestión medioambiental (EMS).

El ecodiseño se consolidó como **herramienta clave**, con aceptación empresarial, entre las que se pueden señalar: reciclaje de materiales, incremento de la durabilidad del producto, empleo de materiales reciclables, menor consumo energético, rediseño/reacondicionamiento, menor desperdicio en producción, técnicas limpias de producción, reducción en el peso y/o volumen del producto, empleo de materiales o envases más limpios y reutilizables, empleo de menor cantidad de envase. En consecuencia, la perspectiva de desarrollo de ecodiseño como práctica asociada a la producción más limpia es ahora más interesante.

Modelo eco-3: sistema interrelacional

Según el informe *"Towards the circular economy"*, varias compañías y gobiernos exploraron activamente las oportunidades relacionadas con la ecoeficiencia y las nuevas formas de energía, se prestó menos atención al diseño sistemático de productos reutilizables; en este punto es donde incidió la idea de la economía circular. Del mismo modo, el informe cuantificó los beneficios económicos de los modelos empresariales circulares, gran parte del sector de manufactura europeo podría ahorrar unos 650.000 millones de euros de aquí al 2025, si rediseñara sus sistemas productivos de acuerdo con la economía circular (Ellen Macarthur Foundation, 2013).

En el segundo informe anual de la fundación, lanzado en Davos en el 2013, se presentaron cifras que impactaron: los ciudadanos compran todos los años para consumir unos 800 kilos de comida y bebida, 120 kilos de envases y 20 kilos de ropa y zapatos que, en su mayor parte, no reciben ningún uso económico posterior. En el actual sistema de "tomar-usar-tirar", en torno al 80% de estos materiales terminan su ciclo de aprovechamiento contaminando. El informe señaló que incluso en el corto plazo, y sin tomar siquiera medidas excesivamente radicales, el valor que podría recuperarse aplicando el sistema economía circular se incrementaría en un 50%.

- **Transformación al proceso circular.** Los procesos lineales del tipo "obtener, transformar, desechar" se caracterizaron por la producción actual de bienes, alimentación y energía que han provocado: problemas medioambientales, económicos y sociales, así como el cambio climático, la escasez de recursos y la contaminación. La esencia de la economía circular residió en diseñar productos sin desechos que facilitaron su desmontaje y su reutilización, así como en definir modelos empresariales

que incentivaran económicamente a los fabricantes para recoger, refabricar o redistribuir los productos. Hasta ahora, el papel de la tecnología se ha enfocado en mejorar la eficiencia de los procesos de producción lineales; por ejemplo, mejorando el motor de combustión interna. Mientras esto ocurrió, el verdadero objetivo era pasar de una economía lineal a una economía circular, en la que los residuos se reintroduzcan en la cadena de producción, limitando en gran parte la necesidad de recursos y el impacto sobre el medioambiente.

- **Generación de valor.** Planteó la necesidad de estudiar posibles estrategias de generación de valor a través de una gestión eficaz de la variable medioambiental. A este respecto, la producción limpia, el ecodiseño de productos y la economía circular se presentaron como procesos que pueden permitir a las organizaciones afrontar sus obligaciones en materia de gestión medioambiental, y al mismo tiempo generar ventajas competitivas. Para ello, es preciso que la empresa incorpore dichos aspectos en la toma de decisiones estratégicas y operativas, esto es, tanto en las decisiones a largo como a corto plazo. Todos los casos mostraron oportunidad de creación del valor preservando los costes de: trabajo, energía y material integrados en productos terminados. En los teléfonos móviles, por ejemplo, el 50% de los costes de entrada del material se podría ahorrar mediante el uso efectivo de la refabricación. Existen impactos ambientales relevantes al aplicar mecanismos de economía circular; un ejemplo de ello: la economía del Reino Unido se podría ahorrar hasta 1.100 millones de dólares (2.120.000 de pesos colombianos) anualmente y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero hasta 7,4 millones de toneladas, manteniendo los desechos alimentarios fuera de los vertederos.

- **Tres E. El sistema Tres E,** engloba los enfoques ecológico, económico y equitativo; se basó en C2C, es la alternativa al modelo insostenible actual. Los proyectos se plantearon con una perspectiva total de su ciclo de vida y se concibió una arquitectura de productos y sistemas asociados integrados con los flujos de materia, sustancia y energía del ecosistema natural y del ecosistema técnico, alcanzándose el objetivo de la economía del bienestar, que minimizan y resuelve los problemas ambientales generados desde el inicio de la revolución industrial.

- **Interrelación de procesos.** El ecodiseño, se entiende como metodología/herramienta de aplicación de mejoras ambientales a lo largo de todo el ciclo de vida del proceso organizado, según criterios de la economía circular desde: la concepción, selección de materiales, fabricación, transporte, uso al tratamiento final, adopte un papel estratégico, convirtiéndose en motor de innovación y peldaño clave hacia la sostenibilidad y el consumo

responsable. Esta herramienta, ligada al modelo de la economía circular y los principios del C2C, constituyó una alternativa a la obsolescencia programada que apuesta por estrategias de sostenibilidad a largo plazo. Se trató de implementar una fórmula para aprovechar de manera eficiente los recursos energéticos y materiales, cada vez más caros y escasos, y de obtener un valor añadido frente a la producción externalizada y de bajo coste.

Las etapas del ciclo de vida de un producto a través de Economía Circular, pueden ser sostenibles. Por ejemplo, a través de la creación de materiales biodegradables o ecoamigables, utilizando materiales/subproductos de otras industrias, maximizando la reusabilidad del producto, diseñando para desmontar y reutilizar sus componentes, minimizando los desechos al final de su vida útil, y utilizando tanto como sea posible como materia prima para nuevos procesos, etc.

El modelo de diseño C2C representó la aplicación de la economía circular al mundo del diseño y la producción industrial, planteando los cimientos de un nuevo paradigma de diseño inteligente basado en cerrar el ciclo de vida de los productos, tal y como ocurre en la naturaleza.

Ambas prácticas son usuales en la aplicación de diversas acciones como la autorregulación. Las compañías visionarias crean sus propios sistemas para marcar y medir metas de desarrollo sustentable, la economía de servicios, que se refiere a proveer a los clientes con un servicio no necesariamente un producto, y la desmaterialización que es la práctica de reemplazar un producto con un sustituto que llene la misma necesidad.

Como puede observarse, ambas disciplinas son **coexistentes**; se encuentran altamente **interrelacionadas** y son **multidisciplinares** en el proceso de implementación de una producción sostenible, objetivo de la industria. La Figura 4, presenta el Modelo ECO-3: las interrelaciones entre economía circular, ecodiseño, C2C y el sistema triple E.

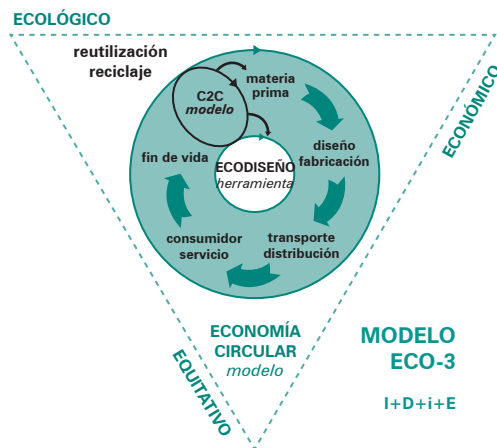


Figura 4. Modelo ECO-3: interrelaciones entre economía circular, ecodiseño, C2C y el sistema triple E. **Fuente:** (Autores)

Conclusiones

En un mundo de recursos limitados y con costes energéticos en aumento progresivo, se plantea como posible alternativa un nuevo modelo productivo: ECO-3. Invertimos mucho dinero y esfuerzos en extraer materiales (recursos limitados) del suelo para transformarlos en productos que luego tiramos.

Se han analizado las diferentes fuentes en las que se inspiró el modelo: las iniciadoras de mediados de los setenta hasta filosofías más actuales así como la economía circular y la filosofía C2C, principales referentes e integrantes de la propuesta.

La economía circular constituye el marco de trabajo en el que se desarrolla el ecodiseño, como un modelo circular integral. Se toma el ecodiseño como la principal herramienta necesaria para la fabricación de productos y servicios que cumplan los criterios requeridos de eficiencia, sostenibilidad, socialmente responsables y diferenciadores.

El modelo ECO-3 propone soluciones a la necesidad de recursos y su impacto en el medio ambiente como la reintroducción de los residuos en la cadena productiva; del mismo modo ayuda a la gestión medioambiental de las organizaciones, les generan valor y competitividad lo cual redunda en beneficios (ahorro) tanto económicos como energéticos.

Dicho modelo supone una nueva cultura empresarial, laboral e investigadora en un sistema de innovación industrial y tecno-científica que comienza a denominarse I+D+i+E (Ética: Responsabilidad).

Referencias

- Benyus M., J. (2003). *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*, Editor William Morrow. ISBN: 978-00-6053-322-9
- Benyus, J. (2012). *Biomimicry*. Recuperado de <<http://www.biomimicryinstitute.org>>
- Ellen Macarthur Foundation: Report. (2013). *Design out waste*. Recuperado de <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/circular-economy/the-circular-model-an-overview>
- Ellen Macarthur Foundation. (2013). *The circular model: an overview*. Recuperado de <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/circular-economy/the-circular-model-an-overview>.

Ellen Macarthur Foundation: Report. (2013). *Towards the Circular Economy*. Recuperado de <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/circular-economy/the-circular-model-an-overview>

Ellen Macarthur Foundation: Report. (2013). *Work towards using energy from renewable sources*. Recuperado de <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/circular-economy/the-circular-model-an-overview>

Ehrenfeld, J., Gertler, N. (1997). Industrial ecology in practice: the evolution of interdependence at Kalundborg. *Journal of Industrial Ecology*, 1(1). Recuperado de <<http://www.johnehrenfeld.com/Kalundborg.pdf>>

Frosch, R. Gallopoulos N. (1989). *Strategies for Manufacturing*. Scientific American, 144-152. Goleman, D. (1999). La práctica de la inteligencia emocional. Barcelona, Editorial Kairós. ISBN: 978-84-7245-407-1

Hawken P., Lovins A., Lovins L. (2000). *Natural Capitalism: Creating the Next Industrial Revolution*. Nueva York, Back Bay Books. ISBN: 978-03-1635-300-7

Lyle T., J. (1994). *Regenerative Design for Sustainable Development*. Editorial Wiley and Sons, Nueva York. ISBN: 978-04-7155-582-7

Manzini, E., Bigues, J. (2000). *Ecología y democracia*, Editorial Icaria, Barcelona. ISBN: 978-84-7426-497-5

Mcdonough, W., Braungart, M. (2003). *Cradle to Cradle*. Editorial McGraw-Hill, Nueva York. ISBN: 978-08-6547-587-8

McDonough, W. (2007). *Cradle to cradle design*. Recuperado de <http://www.ted.com/talks/lang/es/william_mcdonough_on_cradle_to_cradle_design.html>.

Mcdonough, W., Braungart, M. (2007). *The Hannover Principles: Design for Sustainability*. Hamburgo. ISBN: 978-15-5963-635-3

Mollison, B., Holmgren, D. (1978). *Permaculture One: A Perennial Agriculture for Human Settlements*. Gran Bretaña, Tagari Publications, ISBN: 978-05-5298-0609

Mollison, B. (2005). *The Permaculture Way: Practical Steps to Create a Self-Sustaining World*, 2005, Editor Graham Bell. ISBN 978-1-85623-028-5

Organización Internacional de Normalización – ISO. (2010). ISO14040:2006 *Gestión Medioambiental*. Recuperado de http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=37456

Organización Internacional de Normalización – ISO. (2013). *Directrices para la incorporación de ecodiseño ISO14006:2011* Recuperado de http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=43241

Pauli, G. (2010). *La economía azul*. Barcelona, Tusquet Editores ISBN: 978-84-8383-304-9

Pauli, G. (2012). *The blue economy* Recuperado de <<http://www.theblueeconomy.org>>

Ramírez, E., Galán, L. (2012). *El eco-diseño como herramienta básica de gestión industrial*. Universidad de Sevilla, España. Recuperado de <<http://www.ingegraf.es/XVIII/PDF/Comunicacion17007.pdf>>

Stahel R., W. (2010). *The Performance Economy*, 2ª edth. Editorial Palgrave Macmillan, Hampshire (UK). ISBN: 978-02-3058-466-2

Sathel, W. (2013). *A vision of the world in 2030 and a back casting in order to guide actions today. Societal wealth should be measured in stock, not flow*. Recuperado de <http://www.product-life.org/>

Tukker, A, Charter, M, Vezzoli, C. (2008). *System innovation for sustainability: perspectives on radical changes to sustainable consumption and production*. Inglaterra. Editorial Greenleaf Publishing. ISBN: 978-19-060-9303-7

University for the creative arts. (2014). *Centre for sustainable design-cfsd*. Recuperado de <http://www.cfsd.org.uk>

Organización de las Naciones Unidas. (2010). *Informe Nuestro futuro en común o el informe Brundtland*. ONU, Recuperado de <<http://www.un.org/es/comun/docs/?symbol=A/42/427>>

Vezzoli C., Manzini E. (2010). *Design for Environmental Sustainability*. Londres, Editorial Springer, 2010. ISBN 1849967415

Indice de Autores

Authors

Arango Gómez, Jorge Eduardo. Colombiano. Ingeniero Mecánico Universidad Nacional de Colombia, MSc Automatización industrial – Universidad Nacional de Colombia, Profesor Asociado Universidad Nacional de Colombia. E-mail: jearangogo@unal.edu.co'

Aristizabal Hernandez, Javier Dario. Colombiano. Ingeniero Forestal. Especialista en Planeación Ambiental y Manejo Integral de Recursos Naturales. Fundación NATURA Colombia E-mail: jaristizabal@natura.org.co. Tel: 2455700/ Fax: 2854550/ Cel: 3125315416. Carrera 21 No. 39 - 43 (Bogotá)

Balboa, C., Catalina Hermida. Española, Ingeniero en Diseño Industrial. Alumna, máster universitario en Ingeniería del Diseño. Escuela de Ingenieros Industriales. Universidad Nacional de Educación a Distancia – UNED E-mail: catalinahermidabalboa@gmail.com

Castro Corrales, Jorge. Colombiano. Subdirector del Centro de Diseño y Manufactura del Cuero del SENA Itagüí, Antioquia. Ingeniero Industrial, Magíster en Ingeniería, Especialista en Alta Gerencia con Énfasis en Calidad. Grupo BIOMATIC - Biomecánica, Materiales, TIC, Diseño y Calidad para el Sector cuero, plástico, caucho y sus cadenas productivas. E-mail: jcastro@sena.edu.co

Chamorro Rodriguez, Cristian David. Colombiano. Ingeniero Mecánico. Maestría en filosofía. Estudiante de doctorado en ingeniería de la universidad del valle, énfasis ingeniería eléctrica y electrónica. Profesor Asociado Universidad del Valle. Departamento de diseño. Miembro del grupo e investigación DI& ID. E-mail: cristian.chamorro@correounivalle.edu.co

Chaqueta Romero, David Colombiano. Diseñador Industrial. Coordinador grupo de investigación en la Universidad del Valle. E-mail: chaqueo0927@hotmail.com

Díaz Vega, María Isabel. Colombiana Mcs en Ingeniería énfasis en Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana Cali, Colombia. E-mail: midiaz@javerianacali.edu.co; maria_isabel_diaz33@hotmail.com

Domínguez Somonte, Manuel. Español. Doctor Ingeniero Industrial. Profesor, máster universitario en Ingeniería del Diseño. Escuela de Ingenieros Industriales. Universidad Nacional de Educación a Distancia - UNED

Mejía de Gutiérrez, Ruby. Colombiana PhD, Profesor Titular. Grupo de materiales compuestos, Universidad del Valle, Cali, Colombia E-mail: ruby.mejia@correounivalle.edu.co

Pérez Súa, Sergio Colombiano. Ingeniero Mecánico Universidad Nacional de Colombia. Msc (c) Ingeniería Mecánica Universidad Nacional de Colombia

Rodríguez Bossa, Cristian Colombiano Ingeniero Químico, Universidad de Cartagena, Colombia. E-mail: cristianr_bossa@hotmail.com

Rodríguez, Erich. Colombiano. PhD. Investigador. Grupo de materiales compuestos, Universidad del Valle, Cali, Colombia.

Sierra Vargas, Fabio Emiro. Colombiano. Ingeniero Mecánico, Ph.D., Ingeniería - Energías renovables, Universidad de Kassel, Alemania. Msc. Automatización Industrial Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá. Profesor Titular, Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica, Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá. E-mail: fesierrav@unal.edu.co

Tejada Tovar, Candelaria. Colombiana. Ingeniera Química, Universidad Industrial de Santander, Colombia. Magíster en educación, Universidad del Norte, Colombia. Especialista en Química analítica, Universidad de Cartagena, Colombia. Docente del grupo de investigación GIPIQ, de ingeniería química, Universidad de Cartagena. Colombia. E-mail: ctejadaT@unicartagena.edu.co

Valderrama Mejía, Sebastián. Colombiano. Instructor Investigador del Centro de Diseño y Manufactura del Cuero del SENA Itagüí, Antioquia. Biingeniero, Magíster en Ciencia y Tecnología. Grupo BIOMATIC - Biomecánica, Materiales, TIC, Diseño y Calidad para el Sector cuero, plástico, caucho y sus cadenas productivas. Email: sebasmejia9@gmail.com

Velásquez Retrepo, Sandra Milena. Colombiana, Líder de Innovación y Desarrollo Tecnológico del Centro de Diseño y Manufactura del Cuero del SENA Itagüí, Antioquia. Bioingeniera, Magíster en Ingeniería, Especialista en Gerencia. Grupo BIOMATIC - Biomecánica, Materiales, TIC, Diseño y Calidad para el Sector cuero, plástico, caucho y sus cadenas productivas. Email: sandravelasquezrestrepo@gmail.com

Villabona Ortíz, Ángel. Colombiano. Ingeniero Químico, Universidad Industrial de Santander, Especialista en Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Universidad de Cartagena. Docente de planta de ingeniería Química- Universidad de Cartagena, Colombia. E-mail: angelvillabona@yahoo.es

Villaquirán, Mónica A. Colombiana. Estudiante de Doctorado. Grupo de materiales compuestos, Universidad del Valle, Cali, Colombia. E-mail: monica.villaquiran@correounivalle.edu.co