



Dyna

ISSN: 0012-7353

dyna@unalmed.edu.co

Universidad Nacional de Colombia

Colombia

Sarache-Castro, William Ariel; Costa-Salas, Yasel José; Martínez-Giraldo, Jhully Paulin
Evaluación del desempeño ambiental bajo enfoque de cadena de abastecimiento verde

Dyna, vol. 82, núm. 189, febrero, 2015, pp. 207-215

Universidad Nacional de Colombia

Medellín, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49635366027>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Environmental performance evaluation under a green supply chain approach

William Ariel Sarache-Castro ^a, Yasel José Costa-Salas ^b & Jhully Paulin Martínez-Giraldo ^a

^a Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia. wasarache@unal.edu.co; jpmartinezg@unal.edu.co

^b Facultad de Economía, Universidad de Manizales, Manizales, Colombia. yasel.costa@ummanizales.edu.co

Received: May 28th, 2014. Received in revised form: August 25th, 2014. Accepted: December 5th, 2014.

Abstract

Among the environmental management approaches, the concept of Green Supply Chain Management (GSCM) has become one of the most important in recent years. The GSCM approach addresses all processes and activities that make up the supply chain echelons (procurement, manufacturing and delivery), also including design, purchasing, marketing and reverse logistics. Although the literature review identified the existence of a variety of environmental performance indicators framed the Pressure-State-Response approach, indicators applied under the GSCM approach were not found. Therefore, this paper presents a methodology for the construction of a multicriteria indicator to measure the environmental performance under the GSCM approach, based on 8 processes and 32 activities identified from the literature review. The indicator was applied in a group of 14 companies in the coffee region of Colombia. The results indicate a heterogeneous performance among the companies and a significant lag in some of the analyzed processes.

Keywords: green supply chain management; environmental performance; manufacturing companies.

Evaluación del desempeño ambiental bajo enfoque de cadena de abastecimiento verde

Resumen

Entre los enfoques existentes de gestión ambiental, la gestión de cadenas de abastecimiento verde (Green Supply Chain Management, GSCM), se ha convertido en uno de los más relevantes en los últimos años. El enfoque GSCM aborda todos los procesos y actividades que componen la cadena de abastecimiento en los eslabones de aprovisionamiento, manufactura y entregas, incluyendo también el diseño, las compras, el marketing y la logística inversa. Aunque la revisión bibliográfica permitió identificar la existencia de una gran variedad de indicadores de desempeño ambiental que se enmarcan en el enfoque Presión-Estado-Respuesta, no se encontraron indicadores aplicados bajo un enfoque GSCM. Por tanto, el presente artículo expone una metodología para la construcción de un indicador de corte multicriterio que permite evaluar el desempeño ambiental desde el enfoque GSCM, con base en 8 procesos y 32 actividades detectadas en la revisión de literatura. El indicador fue aplicado en un grupo de 14 empresas de la región cafetera de Colombia. Los resultados indican un desempeño heterogéneo entre las compañías analizadas y un rezago importante en algunos procesos.

Palabras clave: gestión de cadenas de abastecimiento verde; desempeño ambiental; empresas manufactureras.

1. Introducción

El sector empresarial, especialmente el manufacturero, ha sido señalado como uno de los mayores generadores de contaminación ambiental, por lo cual la mayor parte de las regulaciones y estrategias para prevenir y mitigar esta problemática se han enfocado en este grupo de empresas [1,2]. Según [3], “El mejoramiento del desempeño ambiental de las organizaciones y la conciencia sobre la protección de los recursos naturales se han venido

consolidando como factores claves de diferenciación en los mercados competitivos a nivel mundial.” Junto con las regulaciones, las presiones provenientes de los consumidores y la propia competencia empresarial, se han convertido en el motor fundamental para equilibrar las decisiones organizacionales con el medio ambiente [4].

Dichas decisiones recaen sobre operaciones relacionadas con el diseño de productos, el abastecimiento, la manufactura y la distribución de bienes terminados, entre otros aspectos asociados al concepto de gestión de cadenas

de abastecimiento (*Supply Chain Management, SCM*). De acuerdo con el *Council of Supply Chain Management Professionals* [5], la gestión de cadenas de abastecimiento “abarca la planeación y gestión de todas las actividades involucradas en el suministro y adquisición, conversión y todas las actividades de gestión logística (...), esta además incluye la coordinación y colaboración con los socios de la cadena, tales como proveedores, intermediarios, proveedores de servicios tercerizados y clientes”. El concepto *SCM* ha sido el resultado de un proceso de evolución que parte desde las primeras concepciones sobre la logística limitada a un problema de gestión de materiales, hasta la concepción moderna que promueve la integración total de los actores, procesos y actividades de la cadena.

En esa vía y en la medida en que las presiones ambientales también han venido creciendo en las últimas tres décadas, uno de los enfoques de gestión ambiental que en los últimos años ha ganado mayor relevancia por su carácter integrador, ha sido el denominado enfoque de gestión de cadenas de abastecimiento verde (*Green Supply Chain Management, GSCM*) [6]. Según [7], el objetivo del enfoque *GSCM* es garantizar la sostenibilidad ambiental en la cadena de abastecimiento, a la vez que se gana ventaja competitiva en términos de reducción de costos, aumento de la calidad, diferenciación, mayor aceptación en el mercado y mejora de la imagen corporativa, entre otras ventajas.

El enfoque *GSCM* requiere de la aplicación de indicadores que permitan medir el desempeño ambiental en todos los procesos y prácticas de gestión asociadas a la cadena de abastecimiento [8-10]. Aunque la revisión bibliográfica permitió identificar la existencia de una gran variedad de indicadores de desempeño ambiental (indicadores de producción limpia, indicadores de auditoría ambiental, indicadores de emisión y consumo, indicadores de riesgo ambiental, etc.), la mayoría se enmarcan en el esquema Presión-Estado-Respuesta [11-14] y no presentan una valoración del desempeño desde un enfoque *GSCM*.

Por tanto, el presente artículo tiene como objetivo exponer la metodología de construcción y aplicación de un indicador de desempeño ambiental con enfoque *GSCM*. El indicador fue construido mediante la aplicación de un método de expertos y técnicas de ponderación simple y aborda de manera integral la medición en 8 procesos identificados en el estado del arte (diseño verde, compras verdes, manufactura verde, distribución verde, marketing verde, innovación verde, gestión de recursos humanos verde y logística inversa) y 32 actividades o dimensiones de desempeño.

El indicador fue aplicado en un conjunto de 14 empresas de la región cafetera de Colombia. De acuerdo con los resultados obtenidos, existe un desempeño heterogéneo que fluctúa en un rango entre 2.0 y 4.5 (en una escala de cinco niveles). Así mismo, se pudo observar que el diseño verde y la manufactura verde, fueron los dos procesos en donde mayor esfuerzos se han realizado; en contraste, la distribución verde, que involucra operaciones de transporte, es la más rezagada.

Para su presentación, el artículo se ha estructurado de la siguiente manera: en primer lugar, se expone una revisión de literatura orientada a identificar las contribuciones

existentes en relación a los indicadores de desempeño ambiental enfocados a cadenas de abastecimiento. Seguidamente, se presenta la metodología utilizada para la construcción del indicador y los resultados relevantes de su aplicación en un conjunto de empresas manufactureras de la región cafetera de Colombia. Finalmente, se presentan las principales conclusiones, en las cuales se plantean algunas perspectivas de investigación en relación con el desarrollo y aplicación del indicador.

2. Revisión de la literatura

El concepto *GSCM* se sustenta en la introducción del pensamiento ambiental en la cadena de suministro [3] y ha sido el resultado de un proceso evolutivo fuertemente ligado a la evolución del concepto *SCM*. Éste tiene sus orígenes en los años 90's cuando la influencia de la función de compras sobre el medio ambiente comenzó a ser investigada [15], posteriormente, [16] propusieron una definición y una taxonomía de mejores prácticas ambientales para toda la cadena de abastecimiento. Años más tarde, [17] realizó una extensiva recopilación del estado del arte identificando vacíos, problemas y oportunidades de investigación en este campo. A partir de ese estudio, dicho autor propuso el enfoque *GSCM* como elemento integrador de todas las etapas del ciclo de vida del producto.

No obstante, en la revisión de literatura no se encontró consenso frente al concepto *GSCM* y este puede variar en función de la visión del investigador, los objetivos de la organización y el propósito de su implementación [18,19]. Por ejemplo, [17] integra en el concepto *GSCM* actividades relacionadas con el diseño verde, manufactura y remanufactura verde, logística en reversa y distribución verde; mientras que [13] integran las compras verdes, manufactura verde, gestión de materiales y distribución verde, marketing verde y logística en reversa. Por su parte, [20] lo dividen en diseño y empaque sostenible, producción sostenible, transporte sostenible, marketing sostenible y compras sostenibles.

Una revisión del estado del arte permitió identificar un conjunto de 8 procesos principales y 32 prácticas de gestión verde (dimensiones de desempeño) que deben ser incorporados al enfoque *GSCM*. Los 8 procesos detectados fueron: diseño verde (DV), compras verdes (CV), manufactura verde (MV), distribución verde (DIV), marketing verde (MkV), innovación verde (IV), gestión de recursos humanos verde (GHV) y logística inversa (LI). La Tabla 1, expone una síntesis que permite identificar el conjunto de procesos y actividades (dimensiones de desempeño) que pueden ser incorporados en el enfoque *GSCM*.

Tabla 1.
Procesos y actividades asociadas al enfoque *GSCM*.

Proceso	Actividades	Autores
DV	DV1. Eliminación de sustancias peligrosas desde el diseño de producto	[17, 21]
	DV2. Enfocar los diseños en la reducción en la fuente y la generación de residuos en el uso del producto	
	DV3. Diseño de productos que tengan un menor gasto energético en proceso y uso	
	DV4. Diseño para remanufacturar y desensamblar	

Proceso	Actividades	Autores
CV	CV1. Participación de los proveedores en la gestión ambiental de la empresa	[17, 22-23]
	CV2. Certificación ISO 14000 por parte de proveedores	
	CV3. Gestión de compra de materiales no contaminantes o agotadores de la capa de ozono	
	CV4. Uso de 6 R's (Reciclar, reusar, reducir, remanufacturar, recuperación de producto o material, reparar) en procesos de compra	
MV	MV1. Implementación de tecnologías limpias para el proceso productivo	[6, 13, 17, 24]
	MV2. Reducción del uso de sustancias peligrosas en los procesos de fabricación	
	MV3. Reducción en la generación de residuos generado a partir de materia prima reciclada	
	MV4. Ahorro energético en los procesos productivos comparado con años anteriores	
	MV5. Implementación de TQEM/ISO 14003	
	MV6. Disminución de emisiones que generan un impacto en la población y el ecosistema	
DIV	DIV1. Uso de embalajes o empaques reciclables en distribución	[17, 21]
	DIV2. Etiquetado de materiales para fines de recuperación	
	DIV3. Selección de transporte amigable o uso de vehículos con tecnología limpia	
MkV	MkV1. Uso del medioambiente como argumento de marketing	[13, 25]
	MkV2. Patrocinio de los eventos ambientales /colaboración con organizaciones ecologistas	
	MkV3. Cooperar con los clientes y los proveedores en la formulación de objetivos ambientales	
IV	IV1. Creación de ventaja competitiva a través del concepto del producto verde	[26, 27]
	IV2. Participación del cliente en el diseño/proceso del producto	
	IV3. Creación de centros de investigación para desarrollar productos verdes	
GHV	GHV1. Formación en Gestión ambiental al personal	[26, 28]
	GHV2. Elección del personal basado en la motivación y compromiso en la gestión ambiental	
	GHV3. Creación de programas de entrenamiento medioambiental para empleados y gerentes	
LI	LI1. Caracterización y retorno de residuos defectuosos, para mantenimiento, reparación y retorno de residuos de temporada.	[29, 30]
	LI2. Implementación de las actividades 6'R en la cadena de suministro.	
	LI3. Tratamiento integral a las emisiones de SO ₂ , NO _x y las emisiones de DQO	
	LI4. Creación de un índice de protección del medio ambiente de la conservación de reciclaje, reducción de gases y energía.	
	LI5. Empleo de métodos de reducción de la contaminación mediante el tratamiento de los residuos generados y la medición del impacto ambiental al tratarlos.	

Fuente: Elaboración propia con base en los citados autores

En relación con el diseño y aplicación de indicadores para la medición del desempeño ambiental bajo un enfoque *GSCM*, se realizó una búsqueda de información sistemática en la *ISI web of Science* y *Scopus*. Las palabras clave utilizadas para orientar la búsqueda fueron: *environmental performance indicator*, *environmental measurement*, *green supply chain management* y *sustainable supply chain*. El rango de tiempo no se manejó como filtro con el fin de conocer la evolución de los aportes. En total se obtuvieron 49 artículos y cada uno de ellos fue sometido a un análisis detallado con el fin de identificar los aportes relevantes asociados al diseño y aplicación de indicadores ambientales. Asimismo, fueron analizados otros documentos aportados por organizaciones gubernamentales y no gubernamentales relacionadas con el tema.

De acuerdo con la literatura analizada, en el estado del arte existe un gran número de indicadores ambientales propuestos por agencias internacionales (*United Nations*, *World Bank*, *World Business Council for Sustainable Development*, *Global Reporting Initiative*, *Organization for Economic Cooperation and Development*), agencias gubernamentales (*US Environmental Protection Agency*, la *Agencia Europea de Medio Ambiente*, *UK Department for Environment, Food and Rural Affairs*, *US National Institute of Standards and Technology*), agencias no gubernamentales e investigadores de la esfera académica. Desde la perspectiva de las agencias internacionales y organizaciones gubernamentales, los indicadores se han convertido en un marco de referencia para evaluar el desempeño a nivel nacional, integrando aspectos ambientales, sociales y económicos; sin embargo, estos no permiten hacer una medición con base en los procesos y actividades asociadas al enfoque *GSCM* identificadas en la Tabla 1. Por el contrario, tales indicadores se enmarcan en el enfoque Presión-Estado-Respuesta, el cual mide las políticas y acciones que afectan la forma como las personas y las organizaciones usan el medio ambiente [31]. En lo que respecta a las contribuciones académicas, se detectó un interés creciente sobre el tema según se expone en la Fig. 1.

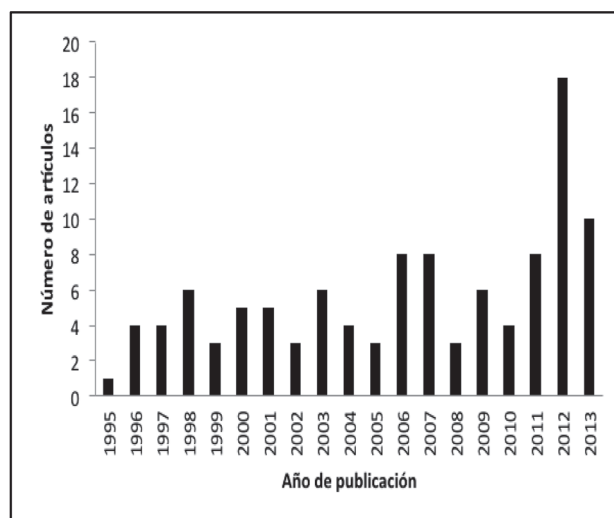


Figura 1. Revisión de la literatura relativa al desempeño ambiental.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.

Procesos involucrados en contribuciones asociadas a indicadores bajo el enfoque GSCM.

Autor	Procesos							
	DV	CV	MV	DIV	MkV	IV	GHV	LI
[11]	X	X	X	X		X		X
[12]	X	X	X	X				X
[13]	X	X	X			X		X
[31]							X	X
[32]			X					X
[33]			X					X
[34]								X
[35]			X				X	X
[36]		X	X	X		X		
[37]			X					
[38]							X	
[39]			X	X				X
[40]			X					X
[41]								X
[42]			X	X			X	X

Fuente: Elaboración propia con base en los citados autores

Una segunda revisión orientada particularmente a detectar indicadores de desempeño ambiental asociados a las actividades del enfoque *GSCM*, permitió detectar 15 artículos relevantes (ver Tabla 2). En cada una de ellas se analizó el alcance de los indicadores propuestos con base en los 8 procesos identificados en la Tabla 1. Como puede observarse, la manufactura verde y la logística inversa son los dos procesos mayormente abordados. Otros procesos tales como el diseño verde, la innovación verde y la gestión de recursos humanos verde han sido abordados parcialmente. En contraste, el marketing verde no está incluido en ninguno de los indicadores identificados. Es evidente que en la literatura revisada no se propone un indicador integral que aborde todos los procesos que conforman el enfoque *GSCM*.

3. Metodología

La presente metodología, expone un conjunto de pasos con miras a construir un indicador integral incorporando los 8 procesos y las 32 actividades detectadas para el enfoque *GSCM*. Para tal fin, se aplicó un método de expertos con el fin de obtener la importancia relativa entre procesos y entre actividades. El método de expertos tiene como finalidad conformar una opinión consensuada sobre un tema complejo. El método permite a los expertos expresar de forma anónima su opinión de forma libre, independiente y confidencial, mediante un proceso de retroalimentación controlada que les permite refinar sus posiciones [43]. Para los efectos de la presente investigación, la metodología propuesta incorpora los aportes de [43-45]. Una explicación detallada se presenta a continuación:

Paso 1. Formular el problema. La formulación del problema permite identificar los objetivos y ofrece las pautas iniciales sobre los requisitos que deben cumplir los

expertos. Estos requisitos deben estar alineados con las limitaciones y finalidad del método.

Paso 2. Definir el grupo director. El grupo director es el encargado de conducir apropiadamente la investigación; se encarga, fundamentalmente, de seleccionar los expertos, desarrollar el proceso de consulta y analizar los resultados.

Paso 3. Seleccionar y valorar los expertos. Un experto es una persona que maneja con propiedad el tema asociado a la pregunta de investigación [46]. En cuanto al número de expertos, existen criterio que definen un número mínimo de 7 y un máximo de 50 [47-49]. No obstante, también se puede calcular a través de la Ecuación 1.

$$n = \frac{P(1 - P)K}{i^2} \quad (1)$$

donde:

n : número de expertos.

i : nivel de precisión deseado (± 10).

P : porcentaje de error tolerado.

K : constante calculada a partir del nivel de confianza.

La expresión anterior ha tenido aplicación frecuente para diversos contextos de la toma de decisiones (ver en [50]). Los expertos a integrar el panel deben ser personas calificadas e independientes entre sí, que se pueden escoger discrecionalmente siempre que reúnan el perfil del experto objetivo [45]. Para determinar si un experto potencial cumple con los requerimientos, se calcula el coeficiente de competencia Ke [45,48], mediante la Ecuación 2.

$$Ke = \frac{(K_c + K_a)}{2} \quad (2)$$

Donde K_c es el coeficiente promedio de conocimiento calculado a partir de la valoración del propio experto sobre el conocimiento o información que tiene acerca del problema planteado, a través de una escala de 0 a 10 puntos. Cero representa un absoluto desconocimiento de la problemática que se evalúa, mientras que diez significa que el experto tiene un alto conocimiento del tema. Por otro lado, K_a representa el coeficiente de argumentación o fundamentación del experto, obtenido como el resultado de la puntuación que el propio experto asigna a las principales fuentes de argumentación en sus respuestas. Utilizando el patrón de puntaje propuesto por [48], el experto indica el grado de influencia de estas fuentes (alto, medio y bajo) sobre sus respuestas. De esta manera, K_a se calcula como la suma de los puntos alcanzados a partir de comparar las casillas marcadas por el experto con el patrón de puntaje, donde se establecen a priori la puntuación asignada a cada fuente. Finalmente, se evalúa la competencia del experto mediante la aplicación de la siguiente escala:

Si $0.8 < Ke \leq 1$, se considera que el experto tiene una alta competencia.

Si $0.5 < Ke \leq 0.8$, se considera que el experto tiene una competencia media.

Si $Ke \leq 0.5$, se considera que el experto tiene baja competencia y el candidato se descarta como experto.

Paso 4. Diseñar y aplicar el instrumento para la

consulta a expertos. El instrumento de recolección de información consiste en una encuesta que debe estructurarse en función de los objetivos de la investigación. Este puede ser diligenciado a través de correo electrónico, por medio telefónico o mediante una encuesta presencial. La selección del medio apropiado depende de la complejidad del problema, los recursos disponibles y el grado de interacción inherente deseada entre el grupo director y los expertos [49]. Inicialmente se envía un primer instrumento de recolección, el cual debe acompañarse con las instrucciones pertinentes que incluyen la introducción al método de ponderación seleccionado y el esquema de retroalimentación. Existen varios métodos de ponderación, tales como la ponderación simple (empleado en la presente investigación), el AHP, ANH y el método de la entropía entre otros; su selección depende de las posibilidades que se tengan de interacción con los expertos [51].

Paso 5. Realizar la prueba de concordancia. Esta prueba consiste en medir el nivel de acuerdo entre los expertos a través del indicador de concordancia de Kendall (W). En cada caso, si W es mayor o igual a 0.5, se considera que existe un buen nivel de acuerdo entre los expertos y, por tanto, las ponderaciones se validan [52]. El subprocedimiento a seguir se expone a continuación:

Calcular el valor medio de los rangos (T)

$$T = M(C + 1)/2 \quad (3)$$

Calcular la desviación del valor medio de los juicios emitidos para cada criterio (D_i^2)

$$D_i^2 = \sum_{j=1}^M (A_{ij} - T)^2 \quad (4)$$

Calcular el coeficiente de concordancia de Kendall (W).

$$W = \frac{12 \sum D_i^2}{M^2(C^3 - C)} \quad (5)$$

donde:

T : valor medio de los rangos.

M : número de expertos.

C : número de criterios (procesos y actividades).

D_i^2 : desviación al cuadrado del valor medio para cada criterio i .

A_{ij} : orden de importancia dada al criterio i según el experto j .

W : coeficiente de Concordancia de Kendall.

Paso 6. Construir y aplicar el indicador GSCM. A partir de las ponderaciones validadas, se procede a la construcción del indicador de desempeño ambiental, el cual incorpora los 8 procesos y 32 actividades identificados en la Tabla 1. La estructura general del indicador se expone en la Ecuación 6. La estructura particular, dependerá de las calificaciones que una empresa obtenga en cada una de las actividades.

$$GSCM_m = \sum W_i (\sum W_{ij} * C_{ijm}) \quad (6)$$

donde:

$GSCM_m$: Desempeño ambiental bajo GSCM en la empresa m .

W_i : Peso del proceso i (DV, CV, ..., LI).

W_{ij} : Peso de la actividad j en el proceso i .

C_{ijm} : Calificación obtenida por la empresa m en la actividad j del proceso i .

4. Resultados experimentales

Al aplicar la metodología propuesta, los resultados fueron los siguientes:

Paso 1. Formular el problema. Para el presente caso, el problema consiste en definir la jerarquía de los 8 procesos y las 32 actividades identificadas en el enfoque GSCM. Dadas las características del problema, el perfil de los expertos debe ofrecer experiencia académica y/o profesional en temas relacionados con cadenas de abastecimiento, gestión ambiental y algunos de los procesos verdes identificados.

Paso 2. Definir el grupo director. Se constituyó un grupo director conformado por dos profesores investigadores expertos en el tema y un equipo de trabajo compuesto por dos profesionales en temas ambientales. Se definieron las actividades a realizar, se diseñó el instrumento de recolección y se realizó una selección preliminar de expertos.

Paso 3. Seleccionar y valorar los expertos. Aplicando la Ecuación 1, el número inicial de expertos fue 11 ($P = 0.03$; $K = 3.8416$ para un nivel de confianza del 95%; $i = 0.1$). Los expertos fueron contactados por vía email y a cada uno se les entregó un instructivo sobre el proceso de autovaloración a realizar. Para cada uno se calculó el coeficiente de conocimiento y el coeficiente de argumentación. Aplicando la Ecuación 2, se obtuvieron los resultados para el coeficiente de competencia. Como se observa en la Tabla 3, el Experto 1 obtuvo una calificación de $K = 0.55$; aunque este resultado se clasifica dentro del rango de competencia media, para los efectos de la presente investigación se decidió trabajar con 10 expertos (Expertos 2 al 11), toda vez que este número sigue siendo adecuado.

Tabla 3.
Resultados de autocalificación de expertos.

Experto	Experiencia académica	Nivel de formación	Experiencia laboral	Ka	Kc	K
1	Más de 5	5	1-5 años	0.5	0.6	0.55
2	Más de 5	Doctorado	Más de 5 años	0.98	0.96	0.97
3	Más de 5	Doctorado	Más de 5 años	0.88	0.98	0.93
4	Más de 5	Doctorado	Más de 5 años	0.74	0.94	0.84
5	Más de 5	Doctorado	Más de 5 años	0.86	0.85	0.86
6	Más de 5	Doctorado	Más de 5 años	0.66	0.60	0.63
7	Más de 5	Doctorado	Más de 5 años	0.70	0.80	0.75
8	Más de 5	Doctorado	Más de 5 años	0.64	0.80	0.83
9	Más de 5	Doctorado	1-5 años	0.90	0.95	0.93
10	Más de 5	Doctorado	Más de 5 años	0.82	0.92	0.87
11	Más de 5	Doctorado	Más de 5 años	0.84	0.97	0.91

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.

Jerarquización de los 8 procesos del enfoque GSCM.

Expertos	DV	CV	MV	DV	MV	IV	GRHV	LI	Total
2	6	2	8	1	3	4	5	7	36
3	8	6	5	1	2	7	4	3	36
4	8	4	7	1	2	6	5	3	36
5	8	7	5	1	4	6	3	2	36
6	8	6	5	1	2	7	4	3	36
7	8	5	7	1	4	3	6	2	36
8	7	6	8	2	3	5	1	4	36
9	7	4	6	1	3	8	5	2	36
10	8	4	7	1	3	6	5	2	36
11	8	3	7	1	4	6	5	2	36
Total	76	47	65	11	30	58	43	30	360
Ponderación	0.21	0.13	0.18	0.03	0.08	0.16	0.12	0.08	1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.

Cálculo de los coeficientes de concordancia.

	Procesos	Matrices							
		DV	CV	MV	DIV	MkV	IV	GRHV	LI
T	49,5	20	15	24,5	18	16	16	17,5	30
D_i^2	3566	194	94	425,5	98	98	74	149	514
W	0,70	0,61	0,52	0,50	0,60	0,77	0,58	0,61	0,62

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6.

Resultados de auto calificación por parte de las empresas

Resultados de auto-evaluación por parte de las empresas																		
Proceso	%	Actividad	%	Empresas														Desempeño por proceso
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
DV	0.21	DV1	0.36	3	5	5	4	2	4	4	2	4	5	4	3	2	5	3.7
		DV2	0.25	3	5	5	4	2	4	4	2	4	5	4	5	1	5	
		DV3	0.22	5	1	5	4	2	3	4	2	4	5	4	3	5	5	
		DV4	0.19	3	5	1	4	2	4	4	2	1	5	4	5	5	2	
CV	0.13	CV1	0.27	1	5	5	4	2	5	4	2	4	5	4	1	1	5	3.3
		CV2	0.26	1	5	5	4	2	5	4	2	5	4	4	1	1	1	
		CV3	0.30	2	5	5	4	2	5	4	2	5	4	4	2	1	5	
		CV4	0.17	2	5	1	4	2	5	4	2	3	5	1	1	1	1	
MV	0.18	MV1	0.22	3	5	5	4	2	5	4	3	4	5	4	2	5	5	3.6
		MV2	0.20	3	5	5	4	2	5	4	3	4	5	4	2	5	5	
		MV3	0.12	1	5	1	1	2	3	4	3	1	1	1	1	1	5	
		MV4	0.14	5	5	5	4	2	5	4	3	5	4	4	3	1	5	
		MV5	0.13	2	5	5	4	2	5	4	3	4	5	4	2	1	4	
		MV6	0.19	1	2	5	2	2	5	4	3	5	5	4	1	1	5	
DIV	0.03	DIV1	0.45	1	1	1	2	2	5	4	1	1	1	1	1	1	1	2.5
		DIV2	0.27	3	5	5	2	2	5	4	5	3	5	2	1	5	1	
		DIV3	0.28	1	1	5	3	2	5	4	5	5	5	2	1	1	3	
MkV	0.08	MkV1	0.35	1	5	5	5	2	5	5	2	4	2	2	1	2	1	3.4
		MkV2	0.22	5	5	5	5	2	5	5	2	4	2	2	5	1	1	
		MkV3	0.43	5	5	5	5	2	5	5	4	5	4	2	1	1	1	
IV	0.16	IV1	0.37	1	5	5	4	2	4	4	4	4	4	2	4	2	1	3.0
		IV2	0.40	1	5	4	4	2	5	4	3	4	3	2	1	1	1	
		IV3	0.23	1	5	4	4	2	4	4	3	4	3	2	1	1	1	
GHV	0.12	GHV1	0.31	1	5	3	5	3	4	3	3	5	3	4	2	2	4	3.3
		GHV2	0.25	1	1	3	5	2	4	3	3	5	3	4	1	1	1	
		GHV3	0.24	1	5	5	5	3	4	3	3	5	3	4	1	1	5	
		GHV4	0.21	5	5	3	5	3	4	3	3	5	3	4	4	1	4	
LI	0.08	LI1	0.19	5	5	1	2	2	4	4	1	1	1	2	5	5	1	3.0
		LI2	0.29	5	5	4	2	2	4	4	1	4	1	2	4	2	1	
		LI3	0.25	5	5	1	2	2	4	4	5	4	5	2	2	1	1	
		LI4	0.11	5	5	4	2	2	4	4	5	4	5	2	1	1	1	
		LI5	0.16	1	5	4	2	2	4	4	5	4	4	2	1	2	5	
Indicador GSCM				2.4	4.5	4.1	3.8	2.1	4.4	3.9	2.7	4.0	3.9	3.1	2.3	2.0	3.1	

Fuente: Elaboración propia

Paso 4. Diseñar y aplicar el instrumento para la consulta a expertos. El instrumento de recolección de información se diseñó con base en los 8 procesos y 32 actividades identificadas en la Tabla 1. A cada experto se le solicitó aplicar una jerarquización simple para cada proceso y cada actividad asignando el mayor valor a la más importante y 1 a la menos importante. Con cada experto se mantuvo una retroalimentación con miras a facilitar el proceso de ponderación. En total se construyeron 9 matrices; una para jerarquizar los procesos y ocho adicionales para jerarquizar las actividades de cada proceso. A manera de ejemplo, en la Tabla 4 se expone la jerarquización dada por los expertos a los 8 procesos. Como se puede observar, la jerarquía establecida por los expertos es la siguiente: Diseño verde (0.21), manufactura verde (0.18), innovación verde (0.16), compras verdes (0.13), gestión de recursos humanos verde (0.12), logística en reversa (0.08), marketing verde (0.08) y distribución verde (0.03).

Paso 6. Realizar la prueba de concordancia. Aplicando las Ecuaciones 3 a la 6 y con base en las 9 matrices antes enunciadas, se realizó el cálculo del coeficiente de concordancia de *Kendall*. Los resultados de los términos implicados en las expresiones mencionadas se exponen en la Tabla 5.

Paso 7. Construir y aplicar el Indicador GSCM. A partir de los resultados del proceso de ponderación y aplicando la ecuación 6, se obtuvo el indicador de desempeño para un conjunto de 14 empresas (ver Tabla 6). Para tal fin, cada empresa realizó un proceso de autoevaluación en cada una de las 32 actividades planteadas en la Tabla 1. La autoevaluación se realizó a partir de una escala de cinco niveles, aplicada a cada actividad verde así: (1) no se ha considerado; (2) se considera implementar a futuro según los planes de la empresa; (3) en proceso de formulación; (4) en proceso de ejecución; (5) plenamente implementada.

5. Conclusiones

En enfoque de gestión de cadenas de abastecimiento verde (*GSCM*) ha venido evolucionado desde el punto de vista conceptual en la medida en que las presiones y la conciencia hacia la protección del medio ambiente también lo han hecho. El estado del arte revela un creciente interés por los temas ambientales durante los últimos años y, en especial, un interés en temas ambientales aplicados a la gestión de cadenas de abastecimiento. Aunque no se encontró una definición unificada sobre el enfoque *GSCM*, la revisión de literatura permitió identificar un conjunto de 8 procesos y 32 actividades verdes que lo conforman. De los 8 procesos identificados, 4 de ellos se asocian a los eslabones principales de la cadena de abastecimiento (compras verdes, manufactura verde, distribución verde, logística inversa) y el resto se pueden agrupar en un conjunto de áreas de decisión y soporte que ejercen un efecto transversal en el desempeño de todos los eslabones de la cadena (diseño verde, innovación verde, gestión de recursos humanos verde y marketing verde).

En relación a la existencia de indicadores para medir el desempeño ambiental, aunque la revisión de literatura

permitió identificar un número importante de contribuciones al respecto, no se encontraron indicadores que integren los 8 procesos y las 32 actividades identificadas en el presente estudio. Según los hallazgos, los esfuerzos de medición se han concentrado especialmente en procesos tales como la manufactura verde y la logística inversa, con menores aportaciones en dos procesos fundamentales como el diseño verde y la innovación verde. Más aun, no se encontraron indicadores que aborden la medición del marketing verde integrado a los demás procesos del enfoque *GSCM*.

Sin embargo, al analizar la jerarquía establecida por los expertos se puede notar que los tres procesos más importantes fueron el diseño verde, la manufactura verde y la innovación verde. Es decir, para los expertos en temas asociados al concepto *GSCM*, el diseño verde y la innovación verde son dos procesos importantes en la medición del desempeño ambiental. Esto coincide con la visión de diversos autores debido a su impacto transversal en todas las operaciones de la cadena de abastecimiento. En cuanto a la manufactura verde, su jerarquización no resulta sorpresiva pues es un proceso que por su alto consumo de recursos, es el mayor generador de impactos en el medio ambiente, lo cual resulta coherente con lo identificado en el estado del arte. Otro hallazgo interesante gira en torno a la logística inversa; a pesar de ser este un tema de gran interés 8 en la teoría y en la práctica, por ser un proceso orientado a operaciones de recuperación y reutilización, los expertos lo ubicaron en el quinto lugar de la jerarquía. No obstante resulta fácil comprender la dominancia de los tres primeros procesos (diseño, manufactura, innovación), toda vez que en la medida que estos sean mejorados desde un enfoque verde, la necesidad de recuperar y reutilizar será menor.

Por otro lado, los resultados revelan un desempeño medio en las empresas evaluadas, con un rango que fluctúa entre una valor de 2 (empresa 13) y 4.5 (empresa 2). Si bien cuatro empresas mostraron un desempeño igual o superior a 4, lo cual indica un esfuerzo importante en la implementación simultánea de las actividades que conforman los 8 procesos, resulta preocupante que 10 de ellas aun presenten rezagos en buena parte de los componentes del indicador. No obstante, y al observar el desempeño promedio (ponderado) de cada proceso, el diseño verde y la manufactura verde, junto con las compras verdes son las que exponen un mejor resultado, lo cual permite identificar esfuerzos importantes en dos de los procesos más relevantes según la jerarquía establecida por los expertos.

Finalmente, a pesar de que los resultados proponen un avance en la medición del desempeño bajo un enfoque *GSCM*, es necesario avanzar en nuevas investigaciones dadas las limitaciones del presente estudio. Por ejemplo, el indicador propuesto puede ser refinado aplicando métodos de ponderación que permitan valorar la consistencia de los expertos con miras a mejorar la fiabilidad de la jerarquía obtenida. También resulta deseable realizar análisis de tipo multivariado que permitan establecer correlaciones entre el desempeño de las 32 actividades identificadas y otras variables como el desempeño financiero y la percepción de los *stakeholders*. Así mismo, estudios comparativos entre sectores podrían detectar los énfasis que cada tipo de compañía establece para mejorar su desempeño ambiental.

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, por su apoyo financiero en la presente investigación (Proyecto Código 19168). De igual forma, los autores desean expresar su gratitud respecto a la colaboración académica brindada por parte de la Facultad de Ingeniería (Decanatura), Universidad de Manizales

Referencias

- [1] Herva, M., Franco, A., Carrasco, E.F. and Roca, E., Review of corporate environmental indicators. *Journal of Cleaner Production*, 19 (15), pp. 1687-1699, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.05.019>
- [2] Brent, A.C. and Visser, J.K., An environmental performance resource impact indicator for life cycle management in the manufacturing industry. *Journal of Cleaner Production*, 13 (6), pp. 557-565, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2003.12.007>
- [3] Leguizamo-Díaz, T.P. and Moreno-Mantilla, C.E., Efecto de las prioridades competitivas en la implementación de prácticas de reverdecimiento en la cadena de suministro con TQM como mediador. *DYNA*, 81 (187), pp. 240-248, 2014. <http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v81n187.46106>
- [4] Xu, L., Mathiyazhagan, K., Govindan, K., Noorul Haq, Ramachandran, N.V. and Ashokkumar, A., Multiple comparative studies of green supply chain management: pressures analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 78, pp. 26-35, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.05.005>
- [5] Council of Supply Management Professionals, SCMP. Supply Chain Management. Terms and Glossary. [on line] 2013. [date of reference August 10th of 2013]. Available at: <http://cscmp.org/digital/glossary/glossary.asp>
- [6] Zhu, Q., Sarkis, J. and Geng, Y., Green supply chain management in China: Pressures, practices and performance. *International Journal of Operations & Production Management*, 25 (5), pp. 449-468, 2005. <http://dx.doi.org/10.1108/01443570510593148>
- [7] Hui, I., Chan, A.H. and Pun, K., A study of the environmental management system implementation practices. *Journal of Cleaner Production*, 9(3), pp. 269-276, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0959-6526\(00\)00061-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0959-6526(00)00061-5)
- [8] Atkinson, G.D., Dubourg, R., Hamilton, K., Munasigne, M., Pearce, D.W. and Young, C., Measuring sustainable development: Macroeconomics and the environment. Cheltenham: Edward Elgar Eds, 1997.
- [9] Neely, A., Adams, C. and Kennerley, M., The performance prism. Edinburgh: Pearson Education Limited, 2002.
- [10] Epstein, M.J., Making sustainability work: Best practices in managing and measuring corporate social, environmental, and economic impacts. Sheffield: Greenleaf Publishing Limited, 2008.
- [11] Zsidisin, G.A. and Siferd, S.P., Environmental purchasing: A framework for theory development. *European Journal of Purchasing and Supply Management*, 7, pp. 61-73, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0969-7012\(00\)00007-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0969-7012(00)00007-1)
- [12] Kafa, N., Hani, Y. and Mhamed, A.E.L., Sustainability performance measurement for green supply chain management. 6th IFAC Conference on Management and Control of Production and Logistics, Fortaleza, Brazil, 2013.
- [13] Hervani, A., Helms, M. and Sarkis, J., Performance measurement for green supply chain management. *Benchmarking: An International Journal*, 12 (4), pp.330-353, 2005.
- [14] Hourneaux, F., Hrdlicka, H.A., Gomes, C.M. and Kruglianskas, I., The use of environmental performance indicators and size effect: A study of industrial companies. *Ecological Indicators*, 36, pp. 205-212, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.07.009>
- [15] Baojuan, S.H.I., Green supply chain management and implementing strategy. Working paper, Hebei Polytechnic University, China, [on line] 1-4, 1996. [date of reference June 10th of 2013]. Available at: <http://www.seiofbluemountain.com/upload/product/201002/1265187832vo7ihtiq.pdf>
- [16] Handfield, R.B., Walton, S.V., Seegers, L.K. and Melnyk, S., "Green" value chain practices in the furniture industry. *Journal of Operations Management*, 15 (4), pp. 293-315, 1997. [http://dx.doi.org/10.1016/S0272-6963\(97\)00004-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0272-6963(97)00004-1)
- [17] Srivastava, S.K., Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review. *International Journal of Management Reviews*, 9 (1), pp. 53-80, 2007. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1468-2370.2007.00202.x>
- [18] Ahi, P. and Searcy, C., A comparative literature analysis of definitions for green and sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, 52, pp. 329-341, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.02.018>
- [19] Martínez-Giraldo, J. and Sarache-Castro, W.A., Green supply chains: Conceptual bases and trends, in Cardona-Alzate, C. and Sarache-Castro W.A., Green supply chains. Applications in agroindustries. Instituto de Biotecnología y Agroindustria, Universidad Nacional de Colombia, Manizales, 2014. pp. 13-26.
- [20] Al-Odeh, M. and Smallwood, J., Sustainable supply chain management: Literature review, trends, and framework. *International Journal of Computational Engineering & Management*, 15 (1), pp. 341-347, 2012.
- [21] Sarkis, J., A boundaries and flows perspective of green supply chain management. *Supply Chain Management: An International Journal*, 17 (2), pp. 202-216, 2012. <http://dx.doi.org/10.1108/13598541211212924>
- [22] Chen, C., Incorporating green purchasing into the frame of ISO 14000. *Journal of Cleaner Production*, 13 (9), pp. 927-933, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.04.005>
- [23] Toke, L., Gupta, R. and Dandekar, M., Green supply chain management; Critical research and practices, *Proceedings of the 2010 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Dhaka, Bangladesh, pp 9-10, 2010.
- [24] Grant, J., Green marketing. *Strategic direction*, 24 (6), pp. 25-27, 2008. <http://dx.doi.org/10.1108/02580540810868041>
- [25] Andic, E., Yurt, O. and Baltacioglu, T., Green supply chains: Efforts and potential applications for the Turkish market. *Resources, Conservation and Recycling*, 58, pp. 50- 68, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.10.008>
- [26] Seman, N.A.A., Zakuan, N., Jusoh, A., Arif, M.S.M. and Saman, M.Z.M., The relationship of green supply chain management and green innovation concept. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 57, pp. 453-457, 2012.
- [27] Sarkis, J., Zhu, Q. and Lai, K., An organizational theoretic review of green supply chain management literature. *International Journal of Production Economics*, 130 (1), pp. 1-15, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.11.010>
- [28] Yarahmadi, M., Motivations towards environmental innovation: A conceptual framework for multiparty cooperation. *European Journal of Innovation Management*, 15 (4), pp. 400-420, 2012. <http://dx.doi.org/10.1108/14601061211272358>
- [29] Carter, C.R. and Easton, P.L., Sustainable supply chain management: Evolution and future directions. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 41 (1), pp. 46-62, 2011. <http://dx.doi.org/10.1108/09600031111101420>
- [30] OECD, Organization for Economic Cooperation and Development. Environmental indicators: Towards sustainable development, [on line]2001, [date of reference May 24th of 2013]. Available at: <http://www.oecd.org/site/worldforum/33703867.pdf>
- [31] Grant, R.M., The resource-based theory of competitive advantage: Implications for strategy formulation. *California Management Review*, 33 (3), pp. 114-135, 1991. <http://dx.doi.org/10.2307/41166664>
- [32] Gungor, A. and Gupta, S., Issues in environmentally conscious manufacturing and product recovery: A survey. *Computers and Industrial Engineering*, 36 (44), pp. 811-853, 1999. [http://dx.doi.org/10.1016/S0360-8352\(99\)00167-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0360-8352(99)00167-9)
- [33] Beamon, B. M., Designing the green supply chain. *Logistics Information Management*, 12(4), pp. 332-342, 1999. <http://dx.doi.org/10.1108/09576059910284159>

- [34] EEA, European Environment Agency. Environment in the European Union at the turn of the century, [on line] 1999. [date of reference May 23th of 2014] Available at: <http://www.eea.europa.eu/publications/92-9157-202-0>.
- [35] EEA, European Environment Agency. Environmental signals: Building the future we want, [on line] 2001. [date of reference March 20th of 2014]. DispoAvailable at: <http://www.eea.europa.eu/publications/eea-signals>.
- [36] Hermann, B.G., Kroeze, C. and Jawjit, W., Assessing environmental performance by combining life cycle assessment, multi-criteria analysis and environmental performance indicators. *Journal of Cleaner Production*, 15 (18), pp. 1787-1796, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.04.004>
- [37] Shang, K.-C., Lu, C.-S. and Li, S., A taxonomy of green supply chain management capability among electronics-related manufacturing firms in Taiwan. *Journal of environmental management*, 91(5), pp. 1218-1226, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.01.016>
- [38] Gupta, S. and Palsule-Desai, O.D., Sustainable supply chain management: Review and research opportunities. *IIMB Management Review*, 23 (4), pp. 234-245, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.iimb.2011.09.007> <http://dx.doi.org/10.1016/j.iimb.2011.09.002>
- [39] GRI, Global Reporting Initiative. Sustainability Reporting Guidelines. [on line] [date of reference July 22th of 2014]. Available at: <https://www.globalreporting.org/resource/library/GRI-Annual-Report-2011-2012.pdf>.
- [40] Comoglio, C. and Botta, S., The use of indicators and the role of environmental management systems for environmental performances improvement: A survey on ISO 14001 certified companies in the automotive sector. *Journal of Cleaner Production*, 20 (1), pp. 92-102, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.08.022>
- [41] Manfredi, S. and Goralczyk, M., Life cycle indicators for monitoring the environmental performance of European waste management. *Resources, Conservation and Recycling*, 81, pp. 8-16, 2013.
- [42] GRI, Global Reporting Initiative. Sustainability Reporting Guidelines. [on line]. [date of reference August 18th of 2014]. Available at: <https://www.globalreporting.org/resource/library/GRI-Annual-Report-2013-2014.pdf>.
- [43] Seuring, S. and Müller, M., Core Issues in sustainable supply chain management. A Delphi study. *Business Strategy and the Environment*, 17, pp. 455-466, 2008.
- [44] Sarache-Castro, W.A., Castrillón, O.D. y Giraldo, J., Prioridades competitivas para la industria de la confección. Estudio de caso. *Cuadernos de Administración*, 24 (43), pp. 89-110, 2011.
- [45] Michalus, J.C., Modelo cooperativo de integración flexible de PyMEs orientado al desarrollo local. Factibilidad de aplicación en municipios de la provincia de Misiones, Argentina. Tesis Doctoral, Programa doctoral en Ingeniería Industrial, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara, Cuba, 2011.
- [46] Kauko, K. and Palmroos, P., The Delphi method in forecasting financial markets— An experimental study. *International Journal of Forecasting*, 30 (2), pp. 313-327, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijforecast.2013.09.007>
- [47] Matthias-Muskat, M., Blackman, D. and Muskat, B., Mixed methods: Combining expert interviews, Cross- impact analysis and scenario development. *Electronic Journal of Business Research Methods*, 10 (1), pp. 9-21, 2012.
- [48] Vera-Toste, Y., La participación en los delitos de sujeto especial. III Encuentro Internacional "Justicia y Derecho". La Habana, Cuba, [en línea] 2006. [consultado en abril 15 de 2010]. Disponible en: http://www.tsp.cu/Archivos/Ponencias_JyD.html.
- [49] Salazar-Ordóñez, M. y Sayadi, S., Los principales instrumentos de la política agraria común en la reforma intermedia: ¿Permiten satisfacer las expectativas de la sociedad europea? VI Coloquio Ibérico de Estudios Rurales (CIER) "El papel de las regiones en las economías rurales". Huelva, España. Universidad Internacional de Andalucía (UNIA), [en línea] 2006. [consultado en abril 22 de 2010]. Disponible en: www.cier.org.
- [50] Costa-Salas, Y.J. y Abreu-Ledón, R., Estrategias de localización con enfoque multiobjetivo para almacenes intermedios en procesos de reciclaje de envases de vidrio. *Ingeniería Industrial*, 30 (1), pp. 18-23, 2009.
- [51] Ramírez-Urizarri, A. y Toledo-Fernández, A.M., Algunas consideraciones acerca del método de evaluación utilizando el criterio de expertos. [en línea] 2005. [consultado en marzo 10 de 2013]. Disponible en: <http://www.ilustrados.com/publicaciones/EEkZylEFEVDEhxqKXi.php>.
- [52] May, T., Social research, issues, methods and process. Fourth edition. New York: Mc Graw Hill, 2011

W.A. Sarache-Castro, es ingeniero industrial de la Universidad de Ibagué, Colombia, MSc. en Ciencias y Dr en Ciencias Técnicas de la UCLV, Cuba. Actualmente es profesor asociado de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales en las áreas de producción, operaciones y cadenas de abastecimiento. Ha sido evaluador de diversas revistas nacionales e internacionales y es miembro del grupo de investigación en Innovación y Desarrollo Tecnológico de dicha institución.

Y.J. Costa-Salas, es Ingeniero Industrial y MSc. en Ciencias de la UCLV, Cuba y Dr. en Ingeniería de la Universidad Otto-von-Guericke, Alemania. Ha sido evaluador de revistas internacionales tales como *European Journal of Operational Research*, *Expert System with Applications* and *Decision Science*. Actualmente es profesor asociado en la Facultad de Economía de la Universidad de Manizales, Colombia, en temas relacionados con matemática aplicada.

W.P. Martínez-Giraldo, es Ingeniera Química y Esp. en Dirección de la Producción y las Operaciones de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, Colombia. Es miembro del Grupo de Investigación en Innovación y Desarrollo Tecnológico y actualmente cursa estudios de Maestría en Ingeniería Industrial.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE MEDELLÍN
FACULTAD DE MINAS

Área Curricular de Ingeniería Administrativa e
Ingeniería Industrial

Oferta de Posgrados

Especialización en Gestión Empresarial
Especialización en Ingeniería Financiera
Maestría en Ingeniería Administrativa
Maestría en Ingeniería Industrial
Doctorado en Ingeniería - Industria y
Organizaciones

Mayor información:

E-mail: acia_med@unal.edu.co
Teléfono: (57-4) 425 52 02