

# REVISTA DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA

Año 18 N° 70

Abril - Junio de 2008

ISSN 0121-5132

El aprendizaje situado como una alternativa en la formación de competencias en ingeniería. Primera parte.

Estudios de vulnerabilidad sísmica y reforzamientos estructurales en edificaciones indispensables, de atención a la comunidad y especiales en nuestro país.

Métodos de apoyo para una gestión ambiental en las organizaciones.

Optimización de redes abiertas a presión utilizando el modelo de las redes parciales sucesivas. Programa de computador utilizando la plataforma AutoCAD.

Teoría del capital humano y concepto de inversión en el sistema de cuentas nacionales de Colombia de 1968 y 1993.

Publicación admitida por Colciencias en el Índice Nacional de Publicaciones Seriadas, Científicas y Tecnológicas colombianas –Publindex– Clasificación tipo C

TARIFA POSTAL REDUCIDA No. 2008-107  
SERVICIOS POSTALES NACIONALES S.A.  
VENCE 31 DE DICIEMBRE DE 2008



ESCUELA  
COLOMBIANA  
DE INGENIERÍA  
JULIO GARAVITO

# Notas editoriales

JAVIER BOTERO ÁLVAREZ

Rector de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

En días pasados la Escuela Colombiana de Ingeniería cumplió 36 años de fundación. En esta etapa de madurez, la institución se acerca a sus cuatro décadas de labor académica con unos nuevos lineamientos de política institucional, adoptados en agosto del presente año por el Claustro de Electores, máximo órgano de gobierno de la institución. En estos lineamientos se plasmó la decisión de ser una universidad de carácter científico y tecnológico que contribuya al desarrollo de las personas, el conocimiento y la sociedad a través del cumplimiento de sus tres funciones: una formación profesional idónea e integral en las áreas de ciencia y tecnología, basada en una sólida preparación científica, tecnológica y socio-humanística, dirigida a la construcción y desarrollo de conocimiento y vinculada con el entorno; la generación de conocimiento, especialmente relacionado con la ciencia y la tecnología, orientado principalmente a la innovación y el progreso tecnológico; y el mantenimiento de una relación permanente y activa con su entorno, a partir de un enfoque de responsabilidad social y ambiental basado en el conocimiento y orientado a analizar e intervenir la realidad para el progreso de la sociedad.

Esta nueva política institucional centra el quehacer universitario en el desarrollo de las personas, del conocimiento y de la sociedad. Un desarrollo basado en la ciencia y la tecnología que traiga consigo bienestar social y equidad. Para que esto ocurra, el conocimiento científico y tecnológico generado a través de la investigación debe ser pertinente, es decir, que tenga relación con nuestras condiciones locales, regionales o globales; debe aportar soluciones a problemas o situaciones propias o anticiparse a ellas y, muy importante, no puede quedarse en los anaqueles de los investigadores. Este conocimiento nuevo debe ser divulgado y transferido a la sociedad de tal manera que pueda ser utilizado por todo aquel que lo necesite. Una

de las principales funciones de una revista como la nuestra es precisamente ofrecer el medio para que el conocimiento generado a través de la investigación sea divulgado.

Creemos que no basta con la generación y divulgación del conocimiento. Es responsabilidad de la comunidad académica ir más allá y facilitar la apropiación de ese conocimiento, ya sea por parte de otros profesionales o de un público más general. Apropiar significa hacer suyo, de tal manera que pueda ser utilizado e incorporado en diferentes quehaceres de la vida laboral o personal. Puede decirse que alguien ha apropiado un conocimiento o una tecnología si él o ella encuentran usos nuevos de ese conocimiento o tecnología o modifican o amplían los ya conocidos. Esta no es una tarea fácil. Para lograr la apropiación social de la ciencia y la tecnología se requiere el trabajo conjunto de quienes generan el conocimiento y quienes lo utilizan. Se requieren espacios de contacto e intercambio de ideas; se requieren canales para presentar los resultados, por un lado, y expresar las inquietudes o solicitudes, por el otro, en un lenguaje sencillo y claro que la contraparte entienda y comparta. Se requiere de la realización de proyectos cuyos resultados beneficien a ambas partes y por lo tanto generen confianza mutua. Se requiere, en resumen, crear un verdadero círculo virtuoso en el cual se genere conocimiento y se divulgue en forma clara para que pueda ser apropiado; de esa apropiación se fortalezca la relación entre la academia y la sociedad y por último, la sociedad alimente la academia con requerimientos e ideas nuevas.

Estamos seguros de que los nuevos lineamientos de política institucional facilitan este proceso y esperamos que la Revista de la Escuela favorezca este ciclo virtuoso de generación-divulgación-apropiación-alimentación de conocimiento y tecnología que tanto necesitamos.



# Estudios de vulnerabilidad sísmica y reforzamientos estructurales en edificaciones indispensables, de atención a la comunidad y especiales en Colombia

SHARON DAYANA GUZMÁN GONZÁLEZ

Ingeniera civil de la Universidad Cooperativa de Colombia, sede Ibagué. Especialista en estructuras de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Actualmente se desempeña como ingeniera de diseño en Proyectistas Civiles Asociados (PCA).

Artículo recibido: 9/06/2008  
Evaluación par interno: 15/10/2008  
Aprobado: 17/10/2008

## Resumen

Colombia se encuentra localizada en un punto crítico del globo debido al constante movimiento de las placas de Nazca, Suramericana y del Caribe. Una necesidad sentida del país es investigar sobre los problemas sísmicos en edificaciones indispensables y de atención a la comunidad, en el momento de presentarse un sismo; éstas se denominan, en las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR-98 (ref. 1, 1998), edificaciones de los grupos III y IV.

La Ley 715 de 2001 exige efectuar el estudio de vulnerabilidad sísmica y reforzamiento estructural a las edificaciones indispensables y de atención a la comunidad construidas antes de 1998. Esta ley tiene unos plazos estipulados para hacer dichos estudios y reforzamientos estructurales, los cuales no se han cumplido.

El factor económico es el predominante en el no cumplimiento de la Ley, pero existe una situación bastante compleja en las exigencias de esta ley, la cual obliga a realizar los estudios de vulnerabilidad sísmica y reforzamientos estructurales a todas las instituciones prestadoras de servicios de salud a nivel nacional. Esto significa que no sólo para los hospitales de niveles de complejidad 2 y 3, según lo establece el Ministerio de Salud, y las clínicas y centros de salud con servicios de cirugía y urgencias en zonas de amenaza sísmica alta e intermedia, sino también para las demás instituciones prestadoras de servicios de salud en cualquier lugar del país.

En ciudades pequeñas de Colombia existen edificaciones de ocupación especial, como universidades, colegios, edificios del

Estado, que pueden presentar una alta vulnerabilidad sísmica que se debe disminuir; la ley no exige que a las edificaciones del grupo II, denominadas en la NSR-98 edificaciones de ocupación especial, se les realicen los estudios de vulnerabilidad sísmica y reforzamiento estructural; en estas construcciones se pueden llegar a concentrar más de 200 personas y en el momento de un sismo intenso el riesgo que corren sus vidas es grande.

**Palabras claves:** amenaza, sismos, estudios de vulnerabilidad sísmica, reforzamiento estructural, NSR-98, Ley 715 de 2001, hospitales, clínicas, centros de salud, instituciones prestadoras de servicio de salud, IPS, vigencia, cumplimiento y factor económico, opciones de reforzamiento estructural.

## Abstract

Colombia is located in a critical point of the world due to the constant movement of the Nazca's, South American and Caribbean plates. A necessity that has the country is to investigate about the seismic problems in the indispensable constructions and of attention to the community, in the moment that an earthquake can be presented. These constructions in the Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98 (ref. 1, 1998), are denominated as constructions of the groups III and IV.

The Law 715 of 2001 demands to make seismic vulnerability studies and structural reinforcements to the indispensable constructions and of attention to the community built before 1998. This law has some

specified terms to make this studies and structural reinforcements, which have not been completed.

The economic factor is the most predominant for not fulfilling the law, but a quite complex situation exists in this law, which forces to make seismic vulnerability studies and structural reinforcements to all the institutions that give services of health at national level. This means that not only for the hospitals of levels of complexity 2 and 3, according to it establishes it the ministry of health, and the clinics and centers of health with surgery and urgencies services in areas of high and intermediate seismic threat, but also for the other institutions that give services of health in any place of the country. In small cities of Colombia exist constructions of special occupation as universities, schools, constructions of the state, that can present a high seismic vulnerability that should be diminished; the law doesn't demand that to this constructions denominated in the NSR-98 constructions of special occupation and classified like group II, are carried out the studies of seismic vulnerability and structural reinforcement; in these constructions can be possible to concentrate more than 200 people and in the moment of an intense earthquake the risk that their lives run is big.

**Keywords:** threat, earthquake, seismic vulnerability studies, structural reinforcement, NSR-98, Law 715 of 2001, hospitals, clinics, centers of health, institutions that give services of health, IPS, validity, fulfilling, and economic factor, alternative of structural reinforcement.

## INTRODUCCIÓN

Colombia es un país con un riesgo sísmico alto. En la actualidad, en todas las ciudades hay edificaciones construidas antes de las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR-98, Decreto 33 de 1998, que no cumplen los requisitos sísmicos exigidos en ella.

Las edificaciones indispensables y de atención a la comunidad, concretamente los hospitales, clínicas y centros de salud del país, son instalaciones que ante la presencia de un sismo no deben presentar mayores daños, tienen que funcionar y prestar sus servicios después del sismo.

La Ley 715 de 2001, en el artículo 54, parágrafo 2°, define cuatro años a partir de la vigencia de la ley para la evaluación sísmica de las instituciones de salud. Una vez terminada la evaluación, la entidad contará con cuatro años para los reforzamientos estructurales que se requieran. El plazo para hacer los estudios de vulnerabilidad sísmica a todos los hospitales, clínicas y centros de salud en el territorio nacional ya se cumplió y está próximo a cumplirse (enero de 2009) el plazo para la ejecución de los reforzamientos estructurales a tales edificaciones,

el cual se vence en enero de 2009; lamentablemente, existen instituciones de salud en todas las ciudades y municipios del país, donde hasta el momento no se han realizado los estudios de vulnerabilidad sísmica, lo que quiere decir que no se ha cumplido con las exigencias de la Ley 715 de 2001.

Los colegios, universidades y edificios del gobierno o empresa privada construidos antes de 1998, donde se reúnen más de 200 personas –denominadas en la NSR-98 edificaciones de ocupación especial–, se deben reforzar. En la ciudad de Bogotá, el Decreto 449 del 31 de octubre de 2006, en el título IV, – capítulo I, artículo 63, “Programas de rehabilitación de la infraestructura existente”, tiene como objetivo la rehabilitación de toda la infraestructura educativa en el Distrito Capital; las rehabilitaciones y reforzamientos estructurales a los centros educativos se harán en el período 2004-2011. Otras ciudades del país como Medellín, Armenia, Cali y Bucaramanga, están en el proceso de redacción y organización del plan maestro de rehabilitación a los centros educativos de cada ciudad. El problema es que a nivel nacional son pocas las ciudades que ya tienen, por ley o por decreto, que hacer los estudios de vulnerabilidad sísmica y reforzamientos estructurales a sus escuelas, colegios y universidades; pero ¿qué pasa en ciudades pequeñas, como Ibagué, Neiva, Manizales, Pereira o Villavicencio? En estas ciudades también se presenta riesgo sísmico alto o intermedio y deben empezar a marchar planes maestros de rehabilitación, como en la ciudad de Bogotá.

Por qué no se ha cumplido con la Ley 715 de 2001 es el tema que se va a profundizar en este artículo; además, se quiere alertar a toda la ciudadanía de poblaciones y ciudades del país sobre la importancia de los estudios de vulnerabilidad sísmica y reforzamientos estructurales a las escuelas, colegios, universidades, alcaldías, auditorios y edificaciones que reúnen a más de 200 personas. La idea es enseñar a la comunidad el problema sísmico de Colombia y el riesgo que se corre cuando no se habita en edificaciones antisísmicas.

## MARCO DE REFERENCIA

El estudio de la ingeniería sísmica en el país recibió un gran impulso en 1974 con la creación de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS). Luego del sismo de Popayán en 1983, el gobierno promulgó el

Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes, en diciembre de 1984. Después de la tragedia del Nevado del Ruiz se inició la implementación de la red sísmológica nacional y de vigilancia de los volcanes. En 1998 se expidieron las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98, Decreto 33 de 1998, que presentan varias modificaciones y ampliaciones en el tema de construcciones sismorresistentes. El objetivo principal de la NSR-98 es reducir a un mínimo el riesgo de la pérdida de vidas humanas, y defender el patrimonio del Estado y de los ciudadanos.

En el título A de la NSR-98 se definen cuatro grupos de uso de edificaciones:

- Grupo I. Edificaciones de ocupación normal.
- Grupo II. Edificaciones de ocupación especial que puedan reunir a más de 200 personas en un mismo salón.
- Grupo III. Edificaciones de atención a la comunidad.
- Grupo IV. Edificaciones indispensables.

La Ley 715 de 2001 exige que a las edificaciones de los grupos III y IV, construidas antes de 1998, se les realice un estudio de vulnerabilidad sísmica y un reforzamiento estructural, buscando así salvaguardar la vida de las personas y asegurar su adecuado funcionamiento en las emergencias.

Esta ley no incluye a las edificaciones del grupo II, edificaciones de ocupación especial, de la cual forman parte las escuelas, colegios, universidades y edificios donde se puedan reunir más de 200 personas en un salón. En el Decreto 449 de 2006 se tiene como plan maestro la rehabilitación de todos los centros educativos de Bogotá. Este decreto debería ser a nivel nacional, para que todas las ciudades del país con riesgo sísmico alto o intermedio realicen los estudios de vulnerabilidad sísmica y reforzamientos estructurales a todos los centros educativos públicos y privados de cada ciudad, con el fin de salvaguardar la vida de los niños.

## OBJETIVOS DEL ESTUDIO

1. Investigar el panorama actual de la vulnerabilidad sísmica y la manera en que se están reforzando las edificaciones en Colombia, con miras a formular recomendaciones para futuros trabajos en este campo.
2. Presentar el panorama actual de los estudios de vulnerabilidad sísmica y reforzamientos estructurales a las edificaciones de los grupos III y IV en las principales ciudades del país.
3. Efectuar un estudio global de la parte social y económica de la manera en que se está reforzando en el país y por qué no se ha cumplido la exigencia de realizar los estudios de vulnerabilidad sísmica y sus respectivos reforzamientos estructurales a las edificaciones que por ley deben hacerlo; también se llevará a cabo un estudio minucioso de cómo se están reforzando las estructuras en el país, concentrándose en ciudades capitales de departamento con riesgo sísmico alto e intermedio, como Bogotá, Cali, Medellín, Armenia e Ibagué.
4. Formular recomendaciones sobre la metodología para el estudio preliminar de evaluación sísmica y reforzamiento.
5. Realizar el estudio preliminar de una edificación de ocupación especial denominada grupo II, que no cuente con los medios económicos para sufragar el costo del estudio de vulnerabilidad; en él se presentará una alternativa de reforzamiento estructural para que la edificación funcione y cumpla con lo exigido en el capítulo A-10 de las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR-98, Decreto 33 de 1998.
6. Presentar una propuesta de modificación a la cobertura que exige la Ley 715 de 2001 artículo 54, parágrafo 2°.

## METODOLOGÍA

Las técnicas de evaluación estructural dependen principalmente de los siguientes factores:

- Naturaleza y objetivo del estudio.
- Información disponible.
- Características del elemento que se pretende estudiar.
- Metodología de evaluación empleada.
- Resultado esperado.
- Destinatario de esta información.

La selección de una determinada metodología está relacionada con la escala del análisis y las características de los elementos en estudio; el examen de las estructuras aisladas o particulares como edificios, puentes, presas, etc., se basa en evaluaciones deterministas de la vulnerabilidad, mientras que el estudio del riesgo sísmico de sistemas territoriales, líneas vitales, etc., generalmente se funda en enfoques probabilistas que permiten hacer aplicaciones regionales del modelo a diferentes escalas.

La Organización Panamericana de la Salud (OPS) (ref. 2, 1993) aconseja: “La medida que se emplee en el estudio depende del modelo adoptado y puede estar orientada a los efectos sobre la población, los daños en las edificaciones, la afectación de los sistemas, etc. Estos efectos normalmente se expresan en parámetros monetarios”.

Para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones individuales es necesario un estudio detallado que permita conocer la susceptibilidad de la edificación de sufrir un determinado nivel de daño para un movimiento especificado. Estos estudios se basan, generalmente, en la comparación de la capacidad resistente de la edificación con la demanda

Las edificaciones indispensables y de atención a la comunidad, denominadas en las NSR-98 de grupos III y IV, deben funcionar después de un sismo, ya que los heridos, en lo posible, se trasladan inmediatamente al centro de salud, hospital o clínica más cercano.

Es importante mencionar que las edificaciones de ocupación especial, denominadas en las NSR-98 de grupo II, se deben reforzar ya que estas edificaciones incluyen a los colegios y universidades del país. La filosofía de las NSR-98 es proteger la vida de los ocupantes de estas edificaciones y la gran inversión en equipos.

## RESULTADOS

Según un inventario efectuado a los hospitales, clínicas y centros de salud en las ciudades de Bogotá, Ibagué, Armenia y Medellín, al 32% de éstos se les ha realizado un estudio de vulnerabilidad sísmica y sólo el 24% de dichas edificaciones se han reforzado estructuralmente hasta la fecha.

En las siguientes tablas se muestra el resumen de los sistemas estructurales que se han utilizado y se prevén

utilizar para el reforzamiento estructural de las IPS públicas en las ciudades de Bogotá, Ibagué, Armenia y Medellín. En la primera columna se indica el sistema estructural; en la segunda, el número de edificaciones que se han reforzado, y en la tercera columna se muestra el número de edificaciones que se prevé reforzar.

### 1. Bogotá

**Tabla 1**  
Resumen del inventario de los reforzamientos estructurales de las IPS públicas de Bogotá.

Sistema estructural	Nº de edificaciones ya reforzadas	Nº de edificaciones que se prevén reforzar
Pórticos externos de acero adosados a la estructura y pórticos internos de acero.	-	Once (11)
Disipadores de energía y diagonales metálicas.	Uno (01)	Uno (01)
Pantallas perimetrales de acero y encamisado de vigas y columnas.	-	Cuatro (04)
Reforzamiento de muros en concreto, encamisado y construcción de vigas y columnas.	-	Uno (01)
Pantallas o pórticos perimetrales internos de concreto y mampostería confinada	-	Uno (01)
Obra nueva - reposición	Diecinueve (19)	
<b>Totales</b>	<b>Veinte (20)</b>	<b>Dieciocho (18)</b>

En la tabla 1 se puede observar que de 38 IPS públicas ubicadas en la ciudad de Bogotá, sólo una se ha reforzado estructuralmente, esto quiere decir que apenas el 2,63% de las IPS de Bogotá se han intervenido y reforzado.

## 2. Ibagué

**Tabla 2**

Resumen del inventario de los reforzamientos estructurales de las IPS públicas del Tolima

Sistema estructural	Nº de edificaciones ya reforzadas	Nº de edificaciones que se prevén reforzar
Encamisado de vigas y columnas, pórticos en concreto y diagonales metálicas.	Dos (02)	Seis (06)
Encamisado de vigas y columnas y pantallas en concreto.	Uno (01)	Cuatro (04)
Total	Tres (03)	Diez (10)

En la tabla 2 se observa que de trece IPS públicas ubicadas en el departamento del Tolima, se han reforzado estructuralmente apenas tres; esto significa que sólo el 23% de las IPS del Tolima se han intervenido y reforzado. Hay diez edificaciones más sin información.

## 3. Armenia

**Tabla 3**

Resumen del inventario de los reforzamientos estructurales de las IPS públicas del Quindío

Sistema estructural	Nº de edificaciones ya reforzadas	Nº de edificaciones que se prevén reforzar
Diagonales perimetrales en perfiles metálicos y encamisado de vigas y columnas	Uno (01)	-
Encamisado de vigas y columnas, pórticos en concreto.	Uno (01)	Dos (02)
Encamisado de vigas y columnas y pantallas en concreto.	Uno (01)	Dos (02)
Obra nueva - reposición	Uno (01)	-
Total	Cuatro (04)	Cuatro (04)

En la tabla 3 se analiza que de ocho IPS públicas ubicadas en el departamento del Quindío, apenas tres se han reforzado estructuralmente, esto quiere decir que sólo el 37,5% de las IPS del Quindío se han intervenido y reforzado. Hay cuatro edificaciones más sin información.

## 4. Medellín

**Tabla 4**

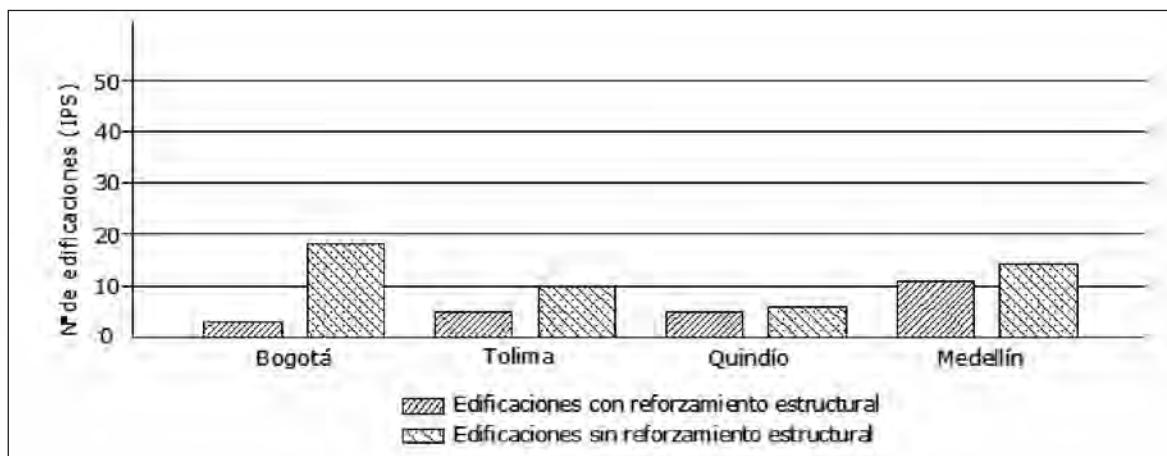
Resumen del inventario de los reforzamientos estructurales de las IPS públicas de Medellín

Sistema estructural	Nº de edificaciones ya reforzadas	Nº de edificaciones que se prevén reforzar
Reforzamiento con diagonales en perfiles metálicos y encamisado de vigas y columnas	-	Siete (07)
Reforzamiento con platinas metálicas externas	-	Dos (02)
Encamisado de vigas y columnas y pantallas en concreto.	Uno (01)	Dos (02)
Sistemas de dovelas y vigas de amarre en concreto	Cuatro (04)	-
Obra nueva – reposición	Seis (06)	Tres (03)
Total	Once (11)	Catorce (14)

En la tabla 4 se analiza que de 25 IPS públicas ubicadas en la ciudad de Medellín, once se han reforzado estructuralmente; esto quiere decir que el 44% de las IPS de Medellín se han intervenido y reforzado. Hay dos edificaciones más sin información.

En el siguiente gráfico se resumen los datos de las tablas 1 a 4.





**Gráfico 1.** Cuadro resumen del inventario de los reforzamientos estructurales de las IPS públicas de las ciudades de Bogotá y Medellín, y departamentos del Tolima y Quindío.

### CASO PARTICULAR DE UN ANÁLISIS ANTISÍSMICO

La campaña “¡Protejamos las vidas de nuestros niños!”, tiene como fin informar a toda la comunidad ibagueña sobre el riesgo que corren los niños y jóvenes de la ciudad al recibir sus clases en escuelas, colegios y universidades donde las edificaciones se encuentran en mal estado y no cumplen las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR-98. En el momento de un sismo con epicentro en la ciudad o en alguna región cercana a Ibagué, estas edificaciones pueden presentar problemas de inestabilidad, registrándose un colapso y poniendo en riesgo la vida de miles de estudiantes y profesores que se ven obligados a recibir sus clases en edificaciones que no cumplen con los requisitos de sismorresistencia que promulgan las normas NSR-98.

Se buscó el apoyo de la Secretaría de Educación del Tolima, mediante un oficio enviado a la secretaria de Educación del departamento del Tolima, Amparo Betancur, en el que se solicitaba el permiso para realizar visitas a los planteles e instituciones educativas y charlar sobre la amenaza sísmica de la región; las fallas geotectónicas que pueden afectar la zona ante la presencia de un sismo; la importancia de los estudios de vulnerabilidad sísmica a las edificaciones educativas y de salud construidas antes de 1998, y los reforzamientos estructurales que se les deben realizar a estas edificaciones.

El objetivo es que los rectores y administradores de dichos planteles educativos y la Secretaría de Educación

del departamento del Tolima trabajen unidos y gestionen los recursos económicos y sociales (reuniones con la comunidad y reuniones con los entes gubernamentales), para que aprueben la campaña “¡Protejamos la vida de nuestros niños!”, y se consigan los recursos económicos para poder realizar los estudios de vulnerabilidad sísmica y reforzamientos estructurales a las edificaciones educativas del Tolima, con el fin de proteger la vida de sus estudiantes y profesores.

Se espera realizar gestiones con los entes gubernamentales de Ibagué para que el Concejo de la ciudad apruebe como decreto el plan maestro de rehabilitación a los centros educativos públicos y privados de la ciudad y así convertirlo en ley, como la Ley 715 de 2001, la cual exige los estudios de vulnerabilidad sísmica y reforzamientos estructurales a los centros de salud, clínicas y hospitales del país.

### ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA AL COLEGIO SAN LUIS GONZAGA, EN LA CIUDAD DE IBAGUÉ

Se realizó un estudio preliminar a una edificación de ocupación especial, el colegio San Luis Gonzaga, ubicado en la ciudad de Ibagué, el cual no cuenta con los medios económicos para sufragar el costo del estudio de vulnerabilidad sísmica; en este estudio se presentan varias opciones de reforzamiento estructural y se escoge una alternativa como solución para que la edificación funcione y cumpla con lo exigido en el capítulo A-10: Edificaciones construidas antes de la vigencia de las NSR-98.

El colegio se encuentra dividido en tres bloques, que a su vez se clasifican en siete zonas. El bloque A es el más antiguo, y sus salones se encuentran en un solo piso, construido con muros de mampostería. El bloque B es el sector nuevo, construido en pórticos de concreto; este bloque es de dos pisos. El bloque C alberga el aula máxima del colegio.

El estudio de vulnerabilidad sísmica del colegio San Luis Gonzaga se realizó con el fin de determinar cómo se podrían disminuir los riesgos para la edificación ante la presencia de un sismo y adecuarla para el cumplimiento de las NSR-98, capítulo A-10.

El estudio de vulnerabilidad sísmica se efectuó en varias etapas. A continuación se presenta un resumen de las etapas o pasos de ejecución:

#### Descripción del proyecto arquitectónico

El colegio San Luis Gonzaga se encuentra ubicado en la calle 37 con avenida Ferrocarril, en la ciudad de Ibagué (foto 1).



Foto 1. Entrada principal del colegio San Luis Gonzaga.

Para el estudio de vulnerabilidad, el colegio San Luis Gonzaga se clasificó en tres edificaciones, las cuales se describen a continuación:

**Bloque A.** Conformado por las zonas 1, 2, 3 y 4 (fotos 2a) a 2f)). La edificación es de un nivel, en el cual funcionan salones de clases, la sala de profesores y la rectoría, todos unidos mediante un pasillo. El área total construida es de 388,97 m<sup>2</sup>.



a) Zona 1: se observa uno de los salones de clase, al fondo.

b) Zona 2: pasillo principal.



c) Zona 3: rectoría del colegio

d) Zona 3: vista aérea de la rectoría.



e) Zona 4: salón de preescolar.



f) Pasillo entre las zonas 3 y 4.

Fotos 2a), b), c), d), e) y f). Bloque A.

**Bloque B.** Integrado por las zonas 5 y 6 (fotos 3a) y 3b)). La edificación es de dos niveles: en el primer piso hay dos salones de clases y el salón de audiovisuales; en el segundo nivel funcionan dos salones de clases, todos unidos mediante un pasillo. El área total construida es de 280,55 m<sup>2</sup>.



a) Zona 5: estructura en pórticos de concreto reforzado.



b) Zona 6: salones de clases y audiovisuales.

**Fotos 3a) y 3b).** Bloque B.

**Bloque C.** Conformado por un nivel donde funciona el aula máxima del colegio (fotos 4a) y 4b)). El área total construida es de 191,20 m<sup>2</sup>.

- Verificación de la construcción existente. Como no se encontraron planos, se realizó el levantamiento arquitectónico y estructural de la edificación.
- Observación sistemática de los elementos estructurales.



a) Zona 7: funciona el aula máxima.



b) Zona 7: se observa el estado de deterioro en que se encuentran muchos colegios públicos del país.

**Fotos 4a) y 4b).** Bloque C.

Tipo de estructura vertical

- La estructura vertical de la edificación del bloque A está compuesta por muros en mampostería del tipo ladrillo tolete común, sin reforzamiento; sólo existen los muros en ladrillo, unas columnetas en concreto de un espesor igual al del muro y una viga superior e inferior de amarre.
- La estructura vertical de la edificación del bloque B está compuesta por pórticos de concreto reforzado, resistentes a momento, compuestos por vigas y columnas de concreto.
- La estructura vertical de la edificación del bloque C está compuesta por muros en mampostería del tipo ladrillo tolete común, sin reforzamiento y ningún tipo de confinamiento, sólo el muro en ladrillo y una viga cinta de amarre.

### Tipo de losa de entrepiso y de cubierta

- **Bloques A y C** → La cubierta está conformada por cerchas metálicas a dos aguas en un sentido y correas metálicas en el otro; las tejas son en asbesto cemento; tienen vigas de amarre en ambos sentidos.
- **Bloque B** → Losa aligerada con bloque de cemento de 0,38 m de espesor; vigas en ambos sentidos en el entrepiso y cubierta a dos aguas en asbesto cemento con vigas de amarre en ambos sentidos.

### Exploración y evaluación de la estructura

Como complemento a las exploraciones visuales efectuadas en los elementos componentes de la estructura de las edificaciones, se hicieron regatas para verificación de hierros y calidad de concretos y pruebas al concreto con el esclerómetro; se realizó un estudio de suelos en el colegio San Luis Gonzaga (fotos 5a) y 5b)).



a) Investigación del suelo en el colegio San Luis Gonzaga.

b) Exploración con barrenos manual.



Fotos 5. Estudio de suelos.

### Características del suelo

El suelo, por sus características y su buena compactación, es considerado como un perfil de suelo  $S_2$ .

El colegio se encuentra ubicado en la ciudad de Ibagué, en una zona sísmica intermedia.

La capacidad portante del suelo, según los ensayos hechos es de  $12 \text{ kg/m}^2 = 120 \text{ kN/m}^2$ .

La profundidad de cimentación recomendada oscila entre 0,80 y 1,50 m.

### Revisión de la calidad de la construcción

Los bloques B y C se construyeron con los requerimientos exigidos para la época; el bloque A es el más antiguo, edificado en 1995, según la información obtenida; por tanto, es claro por qué sólo está construido en mampostería, sin ningún tipo de reforzamiento estructural. De acuerdo aconla inspección realizada, se aprecian en general concretos de aceptable calidad en los elementos estructurales del bloque B y dimensiones de elementos estructurales que hacen prever un buen comportamiento ante cargas verticales y un buen comportamiento desde el punto de vista sísmico.

### Análisis y evaluación de la estructura actual, sometida a las cargas de uso y a los efectos sísmicos

Con base en los planos arquitectónicos se hizo la valoración de cargas verticales para cada estructura, muros divisorios y acabados. El análisis sísmico del edificio se realizó de acuerdo con los requisitos del título A de las NSR-98. La evaluación de las fuerzas horizontales se realizó con base en un análisis de fuerza horizontal equivalente y el espectro elástico de respuesta del capítulo A-2 de las NSR-98; se aplicaron el efecto bidireccional y la torsión accidental prescritos en las NSR-98. El anterior análisis se efectuó con el programa Etabs-6.0.

### Parámetros del movimiento sísmico de diseño

1. Nivel de amenaza sísmica: intermedio.
2. Coeficiente de aceleración para Ibagué:  $A_a = 0,20$
3. Coeficiente de sitios para suelos con perfil  $S_2$ :  
 $S = 1,2$ .
4. Coeficiente de importancia para el grupo de uso II  
 $= 1,1$ .

## Sistema estructural de resistencia sísmica

1. Coeficiente de disipación de energía básico  $R_o$ : para el sistema de pórticos en concreto reforzado con capacidad de disipación de energía moderada (DMO), se tomó como valor de  $R_o$  5,0, que es el valor prescrito por las NSR-98 para dicho sistema; de mampostería no reforzada, se tomó el valor de  $R_o = 1,5$ .
2. Configuración estructural en planta: las estructuras no presentan irregularidad en planta; el coeficiente de reducción según las NSR-98  $\phi_p$  es 1,0.
3. Configuración estructural en altura: las estructuras no presentan irregularidad en altura; el coeficiente de reducción según las NSR-98  $\phi_a$  es 1,0.
4. Coeficiente de disipación de energía de diseño: el valor de R para revisión de la estructura será el producto del coeficiente básico por los factores de reducción antes mencionados.

$$R = R_o \times \phi_a \times \phi_p$$

Para el bloque B (pórticos en concreto reforzado)

$$R = 5,0 \times 1,0 \times 1,0 = 5,0$$

Para los bloques A y C (mampostería no reforzada)

$$R = 1,5 \times 1,0 \times 1,0 = 1,5$$

## Comportamiento con la acción simultánea de cargas verticales y fuerzas de sismo

## Cálculo de las derivas

La deriva está asociada con los siguientes efectos durante un temblor:

1. Deformación inelástica de los elementos estructurales y no estructurales.
2. Estabilidad global de la estructura.
3. Daño a los elementos estructurales que no forman parte del sistema de resistencia sísmica y a los elementos no estructurales, tales como muros divisorios, particiones, enchapes, acabados, instalaciones eléctricas, mecánicas, etc.
4. Alarma y pánico entre las personas que ocupen la edificación.

Tabla 5

Resumen de resultados: derivas de las edificaciones de los bloques A, B y C

Bloque A zonas	Derivas máximas (cm)		Derivas máximas permitidas (cm)	
	X	Y	X	Y
1	3,62	3,00	1,40	1,40
2	3,52	2,98	1,40	1,40
3	4,30	4,11	1,40	1,40
4	4,62	4,55	1,40	1,40
Bloque B zonas	Derivas máximas (cm)		Derivas máximas permitidas (cm)	
	X	Y	X	Y
5	2,98	2,72	3,00	3,00
6	2,80	2,99	3,00	3,00
Bloque C zonas	Derivas máximas (cm)		Derivas máximas permitidas (cm)	
	X	Y	X	Y
7	2,97	2,90	3,00	3,00

De la anterior tabla se concluye:

**Bloque A.** Ninguna de las cuatro zonas cumple con el límite de la deriva, que según las normas NSR-98 es de 0,5% la altura de piso, es decir,  $\Delta_{\max} \leq 0,005h_{pp}$  para estructuras de mampostería (anexo 3, revisión de derivas).

**Bloque B.** Este bloque no presenta problemas de resistencia ante las solicitaciones horizontales. Las dos zonas cumplen con el límite de la deriva, que según las normas NSR-98 es de 1,0% la altura de piso, es decir,  $\Delta_{\max} \leq 0,010h_{pp}$  para estructuras de concreto reforzado, (véase el anexo 3, revisión de derivas).

**Bloque C.** Este bloque cumple con el límite de la deriva, que según las normas NSR-98 es de 0,5% la altura de piso, es decir,  $\Delta_{\max} \leq 0,005h_{pp}$  para estructuras de mampostería (anexo 3, revisión de derivas).

El análisis de las derivas calculadas con las fuerzas sísmicas obtenidas sin tener en cuenta la capacidad inelástica de la estructura permite concluir que la estructura de las edificaciones que componen el bloque A del colegio San Luis Gonzaga se debe rigidizar por este concepto.

## Cálculo de los índices de flexibilidad

La norma NSR-98 prescribe como índice de flexibilidad aceptable el valor de 1,00.

**Tabla 6**  
Resumen de resultados: índices de flexibilidad de las edificaciones de los bloques A, B y C.

Bloque A zonas	Índices de flexibilidad (%)	
	X	Y
1	2,59	2,14
2	2,51	2,13
3	3,07	2,94
4	3,30	3,25
Bloque B zonas	Índices de flexibilidad (%)	
	X	Y
5	1,00	0,91
6	0,93	1,00
Bloque C zona	Índices de flexibilidad (%)	
	X	Y
7	0,99	0,99

Los índices de flexibilidad en las cuatro zonas del bloque A son superiores a 1,00, lo que indica que no están cumpliendo con los índices máximos de flexibilidad exigidos por las NSR-98; por tanto, es necesario generar elementos que permitan rigidizar las cuatro estructuras del bloque A.

#### Cálculo de los índices de sobreesfuerzo

Los índices máximos de sobreesfuerzo de los tres bloques se presentan en la tabla 7.

**Tabla 7**  
Resumen de resultados: índices de sobreesfuerzo de las edificaciones de los bloques A, B y C

Bloque A zonas	Índices de sobreesfuerzo (%)	
	X	Y
1	2,23	2,31
2	3,00	2,88
3	4,02	3,97
4	4,94	4,01
Bloque B zonas	Índices de sobreesfuerzo (%)	
	X	Y
5	2,20	2,52
6	2,41	2,33
Bloque C zona	Índices de sobreesfuerzo (%)	
	X	Y
7	2,28	2,37

De la anterior tabla se concluye que:

- Las cuatro estructuras del bloque A no cumplen con el índice de sobreesfuerzo exigido en las NSR-98. Por ello se requiere que los muros en mampostería no reciban las sollicitaciones sísmicas; la estructura existente se encargará únicamente de resistir las cargas gravitacionales. Obsérvese que el sismo de diseño produce índices de sobreesfuerzo hasta de 4,94, lo que indica la gran debilidad de algunos elementos ante las fuerzas sísmicas generadas en el bloque A.
- Las zonas de los bloques B y C no presentan problemas de resistencia.

#### Cálculo de los índices de estabilidad

Las normas establecen que cuando un piso tiene un índice de estabilidad Q menor que 0,10, dicho piso no es susceptible de movimiento lateral. Cuando el valor de Q es superior o igual a 0,10, se considera que el piso es susceptible de movimiento lateral.

Cuando el índice de estabilidad del piso Q es mayor de 0,50 se debe considerar que el piso es inestable y se debe rigidizar.

Los índices máximos de estabilidad de los tres bloques se presentan en la tabla 8.

**Tabla 8**  
Resumen de resultados: índices de estabilidad de las edificaciones de los bloques A, B y C

Bloque A zonas	Índices de estabilidad	
	X	Y
1	0,071	0,082
2	0,063	0,067
3	0,082	0,097
4	0,096	0,094
Bloque B zonas	Índices de estabilidad	
	X	Y
5	0,07	0,08
6	0,06	0,09
Bloque C zona	Índices de estabilidad	
	X	Y
7	0,083	0,092

De la anterior tabla se concluye que los efectos de estabilidad no son graves y se puede considerar que las estructuras no tienen problemas por efectos P-delta,

ya que se encontraron índices de estabilidad inferiores a 0,10 en todos los edificios.

**CONCLUSIÓN**

Luego de realizar los análisis matemáticos y evaluaciones a las edificaciones existentes, se concluye que las estructuras de los bloques B y C del colegio San Luis Gonzaga cuentan con un sistema sismorresistente adecuado de acuerdo con lo establecido en las normas NSR-98; esto quiere decir que las estructuras de los bloques B y C no necesitan reforzamiento estructural.

Las estructuras del bloque A del colegio San Luis Gonzaga no cuentan con un sistema sismorresistente apropiado, de acuerdo con lo establecido en las normas NSR-98; por tanto, las cuatro edificaciones del bloque A se deben reforzar para que cumplan con los parámetros de sismorresistencia exigidos por las normas NSR-98.

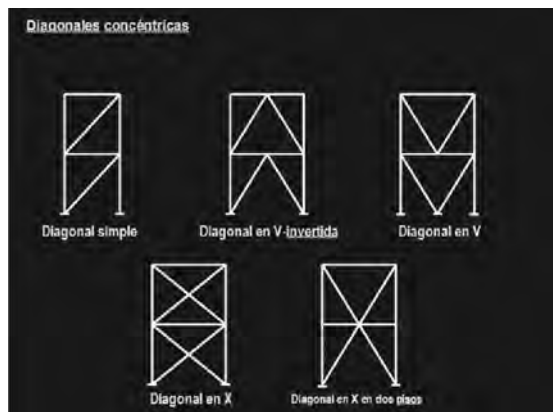
**OPCIONES DE REFORZAMIENTO**

Las opciones de reforzamiento de edificaciones que se describen a continuación son las utilizadas en Colombia.

**Opción 1. REFUERZO DE ESTRUCTURAS CON DIAGONALES METÁLICAS**

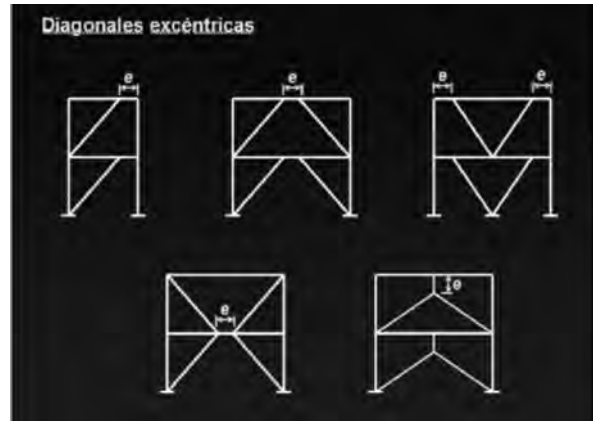
Este sistema aporta rigidez a la estructura mediante elementos metálicos, el aumento de rigidez disminuye los desplazamientos y aporta ductilidad así como la resistencia.

**Diagonales metálicas concéntricas**



**Figura 1.** Esquemas de diagonales metálicas concéntricas.

**Diagonales metálicas excéntricas**



**Figura 2.** Esquemas de diagonales metálicas excéntricas. Tomadas del documento *Design of seismic – resistant steel building structures* (Engelhardt y AISC, ref. 5.1, 2007).

En las fotos (6a) y b) se observan ejemplos de este sistema estructural con diagonales metálicas en la ciudad de Bogotá.



a) Sistema de diagonales metálicas.



b) Edificio diseñado y construido en Bogotá con estructuras metálicas.

**Fotos 6.** a) Edificio ETB, Bogotá; b) Edificio Colsánitas, Bogotá.

### Opción 2. REFUERZO DE ESTRUCTURAS CON AISLADORES DE BASE O DISIPADORES DE ENERGÍA

Los disipadores de energía son elementos metálicos o mixtos que se caracterizan por absorber la energía de un sismo al deformarse ante la presencia de éste. Si la deformación es permanente, se busca que pueda remplazarse fácilmente.

Los aisladores de base son elementos metálicos o mixtos ubicados en la base del edificio para aislar la edificación del movimiento que se presenta en el suelo debido a las ondas sísmicas. Se utilizan en edificios no muy altos, requieren una separación amplia entre edificios vecinos y son útiles en edificios con frecuencia baja.

Las fotos 7 a) y 7 b) presentan este sistema estructural en la ciudad de Bogotá.



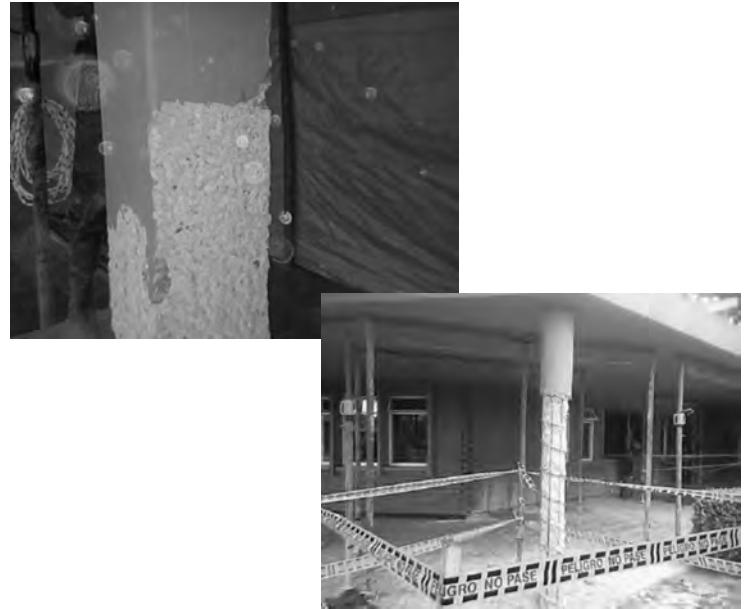
**Foto 7a) y b).** Reforzamiento con disipadores metálicos y diagonales metálicas. Hospital El Tunal, Bogotá.

### Opción 3. REFUERZO DE ESTRUCTURAS CON ENCAMISADO DE COLUMNAS EN ESTRUCTURA METÁLICA Y PÓRTICOS EN PERFILES DOBLADOS EN FRÍO DE LÁMINA DELGADA

Esta solución plantea el reforzar columnas mediante un encamisado con ángulos metálicos, el cual se realiza por medio de un sistema de ángulos y platinas soldadas que generan suficiente refuerzo y que así responden a los esfuerzos y sollicitaciones a los que se ve sometida la estructura. Mediante este sistema se incrementa la capacidad de soporte a cargas verticales y fuerzas horizontales. Se plantean perfiles en lámina delgada cuando

las cargas verticales y horizontales de las estructuras que se van a reforzar son livianas.

En las fotos 8 a) y 8 b) se observan ejemplos de este sistema estructural.



**Foto 8. a) y b)** Se observa la superficie rugosa de las columnas para la perfecta adherencia del concreto actual y el nuevo concreto del elemento. Colegio Santa Teresa, Bogotá.

### Opción 4. REFUERZO DE ESTRUCTURAS CON PANTALLAS EN CONCRETO

Se rigidizan las estructuras con muros pantalla de concreto, localizados en los sitios donde se requiera incremento de rigidez. Este sistema es uno de los más empleados en el país; los muros pantalla pueden ser económicos para el refuerzo de estructuras, pero muchas veces los factores como la afectación arquitectónica de las edificaciones o la afectación en el funcionamiento de las edificaciones al construir dichos muros son aspectos importantes que han hecho que este sistema de reforzamiento estructural no sea el más apropiado en muchos casos.

En las fotos 9 a) a 9 c) se observan ejemplos de este sistema estructural.





**Fotos 9.** a), b) y c) Sistema de reforzamiento con pantallas en concreto.

En la foto 9a) se muestra un reforzamiento con muro pantalla en concreto en el hospital la Misericordia de Medellín, en la foto 9b) se observa un reforzamiento con el sistema antes mencionado en un edificio de vivienda en la ciudad de Pereira y en la foto 9c) se observa un reforzamiento de un muro en mampostería simple con muro pantalla en concreto en la Alcaldía de Bogotá.

#### Opción 5. REFUERZO ESTRUCTURAL CON SISTEMAS DE FIBRAS DE CARBONO O FIBRAS DE VIDRIO

Las láminas son una combinación de fibras de carbono o fibras de vidrio, y una matriz de resina epóxica, que tienen en dirección de la fibra una resistencia y rigidez muy altas, así como un comportamiento excepcional a la fatiga. Este refuerzo no presenta deformación plástica de reserva, por lo que la máxima resistencia a flexión de la sección se alcanza cuando la falla de la lámina ocurre durante la fluencia del acero.

En las fotos 10a) y 10b) se observan ejemplos de este sistema estructural.



a) Reforzamiento con fibras de carbono Edificio Ultramar, Medellín.

b) Viga estructural reforzada con fibras de carbono. Puente Marino, Cartagena.

**Foto 10.** a) y b) Sistema de reforzamiento con fibras de carbono.

#### COMPARACIÓN Y ESCOGENCIA DE LA OPCIÓN DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL

De acuerdo con la configuración estructural, estado de conservación y manejo de espacios proyectados en los edificios del bloque A del colegio, se presenta a continuación la comparación de las opciones planteadas para aumentar su rigidez y resistencia, y la escogencia de la opción de reforzamiento estructural para los edificios del bloque A del colegio San Luis Gonzaga:

##### OPCIÓN 1

Rigidizar la edificación mediante la instalación de diagonales metálicas tubulares en los sitios donde se observaron problemas de resistencia ante cargas gravitacionales y fuerzas horizontales. Esta solución es la más económica, ya que los elementos en X se colocarían en áreas relativamente pequeñas, por lo que el gasto en materiales y mano de obra se prevé que sea mucho menor que en las otras opciones; además, posee una ventaja constructiva, puesto que la obra va a permanecer limpia de escombros y se pueden realizar las actividades de clase con los alumnos, sin ningún retraso en el horario académico.

##### OPCIÓN 2

Esta opción se descarta por el alto costo que implica la compra y colocación de instrumentos como amortiguadores o aisladores de base.

##### OPCIÓN 3

La inexistencia de elementos de pórtico o su discontinuidad fueron los factores decisivos para descartar esta opción en la parte de encamisado de columnas. El caso de los pórticos perimetrales con perfiles de lámina delgada resulta antieconómico en comparación con las diagonales metálicas en forma tubular de la opción 1, ya que dichos elementos en X se plantean en los puntos específicos donde se encuentran los problemas de cargas verticales y resistencia sísmica de las edificaciones, razón por la cual se reducen costos en material y mano de obra.

#### OPCIÓN 4

Esta opción involucra la afectación severa de elementos de fachada del colegio San Luis Gonzaga, por lo que pone en riesgo la estabilidad vertical de los muros en mampostería existentes; por tal razón, este sistema de reforzamiento se descarta.

#### OPCIÓN 5

En el bloque A existe un sistema combinado de muros en mampostería simple y algunas columnetas; la inexistencia de elementos que conformen un pórtico es el factor decisivo para descartar esta opción. Además se prevé que económicamente no es viable, pues el costo de estas fibras es alto.

#### OPCIÓN DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL ESCOGIDA

Con base en los análisis anteriores se escogió la opción 1: refuerzo de estructuras con diagonales metálicas, para realizar el reforzamiento estructural a las cuatro edificaciones del bloque A. Con los resultados de los análisis previos y la opción de reforzamiento se diseñaron las soluciones estructurales a las cuatro edificaciones, aplicándose todas las exigencias de las normas NSR-98. Para ello se incluyen los elementos de rigidización en las edificaciones.

#### RESULTADOS DE LA OPCIÓN DE REFORZAMIENTO ESCOGIDA

En la siguiente tabla se presentan los resultados de los índices de flexibilidad de las edificaciones del bloque A, antes después del reforzamiento, y se comprueba que el reforzamiento con diagonales metálicas provee a las edificaciones del bloque A del colegio San Luis Gonzaga una rigidez suficiente para cumplir lo prescrito en el título A, capítulo A-10. Edificaciones construidas antes de la vigencia de las NSR-98.

**Tabla 9**  
Tabla comparativa de los índices de flexibilidad antes y después del reforzamiento

Bloque A zonas	Índices de flexibilidad antes (%)		Índices de flexibilidad después (%)	
	X	Y	X	Y
1	2,59	2,14	0,87	0,81
2	2,51	2,13	0,99	1,00
3	3,07	2,94	1,00	0,98
4	3,30	3,25	1,00	1,00

En caso de presentarse el sismo de diseño y de haberse aplicado la solución propuesta, las cuatro edificaciones se comportarán dentro del intervalo de deflexiones permitidas y presentarían daño de elementos estructurales como muros, vigas y columnetas pero sin colapso total, cumpliendo así la filosofía de las normas NSR-98: proteger la vida y bienes de quienes habitan o usan los edificios. De esta manera se lograría el objetivo del presente estudio de vulnerabilidad sísmica.

#### CONCLUSIONES

- Los estudios de vulnerabilidad sísmica para las edificaciones indispensables y de atención a la comunidad en las ciudades que se estudiaron no se han hecho en su totalidad. La Ley 715 de 2001 tenía como plazo para realizar los estudios de vulnerabilidad sísmica a las instituciones prestadoras de servicios de salud hasta el 21 de diciembre de 2005; por tanto, no se ha cumplido con la ley.
- El plazo para hacer los reforzamientos estructurales a las edificaciones indispensables y de atención a la comunidad en todo el país es el 21 de diciembre de 2009; es una utopía creer que este plazo se cumpla. Según el inventario, en las cuatro ciudades en estudio sólo se ha efectuado el 45% de reforzamientos estructurales hasta la fecha a dichas edificaciones; el gobierno debe asegurar los recursos económicos para seguir efectuando los reforzamientos estructurales a las edificaciones indispensables y de atención a la comunidad, y así cumplir con lo promulgado en la Ley 715 de 2001.
- Los reforzamientos estructurales de edificaciones indispensables y de atención a la comunidad se han realizado en algunas edificaciones importantes; es

decir, hospitales y centros de salud de niveles de atención 2 y 3. Surge la duda de qué pasará con los centros de salud de nivel de atención 1, teniendo en cuenta que son los que más se encuentran en las ciudades en estudio.

- Las ciudades que más llevan adelantado el proceso de reforzamiento estructural de edificaciones indispensables y de atención a la comunidad son Bogotá y Armenia; les siguen Medellín e Ibagué.
- Los sistemas de reforzamiento estructural más utilizados en las cuatro ciudades en estudio son el encamisado de vigas y columnas y las pantallas en concreto. Las estructuras metálicas se han utilizado con mayor frecuencia en las ciudades de Bogotá y Armenia; en Medellín, en el último año, se han hecho varios reforzamientos con diagonales metálicas.
- Las ciudades de Bogotá y Medellín están efectuando en forma organizada los estudios de vulnerabilidad sísmica y los reforzamientos estructurales de planteles educativos públicos y privados. La ciudad de Bogotá está cumpliendo con el Decreto 449 del 2006, plan maestro de rehabilitación a todas las instituciones y centros educativos del Distrito Capital; otras ciudades del país están en el proceso de redacción, organización y aprobación del plan maestro de rehabilitación, pero en muchas ciudades la Secretaría de Educación no tiene idea del riesgo que están corriendo profesores y alumnos al encontrarse en una edificación vulnerable ante la presencia de un sismo.
- Es ley de la república de Colombia proteger la vida de los ciudadanos, en especial la de los niños; eso promulga la Constitución de Colombia junto con los decretos de las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR-98, pero la evidencia demuestra que no se está cumpliendo con la ley y por tanto se está violando el derecho de los colombianos.
- El estudio de vulnerabilidad sísmica realizado al colegio San Luis Gonzaga, de la ciudad de Ibagué, presenta una opción de reforzamiento estructural, la cual comprueba que el reforzamiento con diagonales metálicas provee a las edificaciones del bloque A del colegio San Luis Gonzaga, rigidez, resistencia e incremento en el amortiguamiento propio de la estructura, lo cual modifica positivamente su respuesta ante sismos y reduce el nivel de daño en la estructura

ante el sismo de diseño; por lo anterior, se cumple lo prescrito en el título A, capítulo A-10. Edificaciones construidas antes de la vigencia de las NSR-98.

## RECOMENDACIONES

- El gobierno debe gestionar y agilizar la entrega de los recursos económicos a los entes administrativos para que se lleven a cabo los estudios de vulnerabilidad sísmica y reforzamientos estructurales de edificaciones indispensables y de atención a la comunidad en todo el territorio nacional.
- Realizar una campaña informativa en cada ciudad del país, como lo hizo la ciudad de Bogotá, comunicando a los ciudadanos la importancia de hacer el estudio de vulnerabilidad sísmica y reforzamiento estructural de los colegios, sobre todo en aquellas ciudades de amenaza sísmica alta e intermedia.
- Efectuar estudios e investigaciones en las universidades del país, para el desarrollo de nuevas formas de reforzamiento estructural.
- Organizar campañas de prevención para que la ciudadanía sepa cómo deben reaccionar ante la ocurrencia de un sismo, cómo se puede proteger y cómo debe evacuar una edificación. Esto ayudará a evitar la pérdida de vidas humanas.
- Los ingenieros estructurales deben ser conscientes de los problemas sísmicos que tiene el país. Por eso están en la obligación de indagar sobre cómo se están llevando a cabo los estudios de vulnerabilidad sísmica de las estructuras construidas antes de 1998, que no cumplen los requisitos legales de sismorresistencia. Colombia está predispuesta a sufrir eventos sísmicos de gran magnitud, por lo que las edificaciones deben estar preparadas para las solicitaciones sísmicas sin colapsar y así evitar pérdidas de vidas humanas y materiales.
- El colegio San Luis Gonzaga es un establecimiento público ubicado en la ciudad de Ibagué, el cual no cuenta con el dinero para realizar el estudio de vulnerabilidad sísmica a sus edificaciones; son muchos los colegios, escuelas y universidades en el país que no tienen los recursos suficientes para realizar un estudio de vulnerabilidad sísmica y un reforzamiento estructural a sus establecimientos educativos. La anterior problemática se debe conocer a nivel nacional, pues no se debe seguir arriesgando la vida de los niños del país, que son el futuro de Colombia.

- En la ciudad de Ibagué se debe seguir el ejemplo de ciudades como Bogotá, Medellín y Armenia, las cuales están realizando campañas de información y de gestión para conseguir los recursos y realizar tanto los estudios de vulnerabilidad sísmica como los reforzamientos estructurales a muchas edificaciones de planteles educativos en sus ciudades.
- El buen funcionamiento de las edificaciones reforzadas ante la ocurrencia del sismo de diseño depende de la correcta aplicación de las medidas propuestas y del mantenimiento preventivo que se realice, impidiendo cualquier tipo de construcción adicional sin la respectiva consulta con profesionales especializados.
- Finalmente es importante señalar la necesidad de impedir el cambio de uso de las edificaciones evitando las sobrecargas debidas a almacenamiento de equipos o materiales por fuera de los límites establecidos en el presente estudio.

## BIBLIOGRAFIA

- Asociación Colombiana del Concreto (Asocreto) (2006). Seminario "Rehabilitación, refuerzo y protección de estructuras en concreto". Medellín: [www.asocreto.org.co/seminarios/rehabilitacion-medellin](http://www.asocreto.org.co/seminarios/rehabilitacion-medellin), diciembre.
- Boletín No. 46 (1995). *Manual para la evaluación sísmica de edificaciones existentes*. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS).
- Boletín No. 51 (1999). *Vulnerabilidad sísmica de hospitales*. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS).
- Corporación de Acero (Corpacero) (2007). *Sistema estructural integrado – edificaciones*. Bogotá: [www.corpacero.com](http://www.corpacero.com).
- Chio, Gustavo & Maldonado, Esperanza (2004). *Análisis sísmico de edificaciones*, 1a. ed. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, División Editorial y de Publicaciones. ISBN 958-8187-30-3.
- Código Colombiano de Construcciones sismo resistentes (1984). *Decreto 1400 del 7 de junio de 1984*. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS).
- Fundamentos para la mitigación de desastres en establecimientos de salud* (2000). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS).
- Escobar, Patricia (2007). *Caracterización geotécnica de Ibagué*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, Proyecto de grado. Instituto Geofísico. Facultad de Ingeniería.
- García, Luis Enrique (2000). *Dinámica estructural aplicada al diseño sísmico*, 1a. ed., 3a. impresión. Bogotá: Universidad de los Andes y Luis Enrique García Reyes. ISBN 958-33-0768-8.
- Instituto Geofísico Universidad Javeriana y Consultoría Colombiana (2000). *Microzonificación sísmica preliminar de Ibagué*. Bogotá: [www.ainsuca.javeriana.edu.co/geofisico](http://www.ainsuca.javeriana.edu.co/geofisico).
- Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, Decreto 33 de 1998, NSR-98* (1998). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS).
- Romo, Marcela (2006). *Diseño de naves industriales con lámina delgada de acero*. Bogotá: [www.construaprende.com/tesis/estructuras](http://www.construaprende.com/tesis/estructuras).
- Sarria, Alberto (1995). *Ingeniería sísmica*, segunda edición, primera impresión. Bogotá: Universidad de los Andes, Ecoe y Alberto Sarria. ISBN 958-9057-49-7.
- Sarria, Alberto & Gallego, Mauricio (2006). *El concreto y los terremotos*. 1a. ed. Bogotá: Asociación Colombiana de Productores de Concreto (Asocreto). ISBN 958-97371-6-1.
- Seminario internacional "Vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y reforzamiento de estructuras" (1999). Medellín: Universidad de Medellín, septiembre.
- Uribe, Jairo (2004). *Análisis de Estructuras*, 2da. ed., 3a. impresión. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería y Ecoe Ediciones. ISBN 958-8060-14-1.
- Valdenebro, Francisco (2007). *Reforzamiento y protección sísmica de estructuras, métodos convencionales y nuevas tecnologías*. Bogotá: Profesionales Argos. [www.argos.com.co/reforzamiento\\_y\\_proteccion\\_sismica.pdf](http://www.argos.com.co/reforzamiento_y_proteccion_sismica.pdf), mayo.



# Optimización de redes abiertas a presión, utilizando el modelo de las redes parciales sucesivas. Programa de computador utilizando la plataforma AutoCAD

ALFONSO RODRÍGUEZ DÍAZ

Profesor titular de la Escuela Colombiana de Ingeniería. Profesor de la Maestría en Ingeniería Civil y de la Especialización en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

ÁLVARO HERNÁN CARDONA

Ingeniero sanitario de la Universidad del Valle. Especialista en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

ERNESTO RIVEROS OSPINA

Ingeniero Civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería. Especialista en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

Artículo recibido: 9/06/2008  
Evaluación par interno: 15/10/2008  
Aprobado: 17/10/2008

## Resumen

En el diseño de redes abiertas de distribución a presión se deben satisfacer, de acuerdo con unas necesidades, las condiciones de suministro establecidas.

La primera condición que se impone es garantizar, desde el punto de vista del diseño hidráulico, el suministro de los caudales y las presiones mínimas exigidas en los puntos de toma de la red.

La segunda condición que impone la selección de la solución definitiva es que, satisfechas las condiciones hidráulicas (caudales y presiones), la red diseñada debe ser aquella cuyo costo es mínimo. La evaluación simultánea de los parámetros hidráulicos y los costos de la red convierten el análisis del sistema en un problema de optimización, en el que satisfechos los condicionantes hidráulicos se asegura que la red, de todas las posibles, es de costo mínimo.

La solución de este tipo de problemas, en particular el de las redes abiertas a presión, se hace generalmente mediante técnicas de programación lineal que exigen la utilización de un computador. El desarrollo de este modelo de redes abiertas es semejante al desarrollo que tiene un árbol y parte del punto del tallo donde termina la raíz (punto de suministro). Desde este punto comienzan una serie de derivaciones o ramales que se inician en un nodo y donde las tuberías que se desprenden se asemejan a las ramas que terminan en el siguiente nodo.

En este trabajo, utilizando para la optimización el método de las redes parciales sucesivas, se desarrolla una nueva aplicación que se

ha implementado en el ambiente gráfico AutoCAD, para facilitar el manejo de la red y el análisis de los resultados. El programa diseñado toma cada uno de los elementos y los maneja como un objeto específico, que se relacionan mediante tuberías y nodos de suministro y derivación.

El modelo se dividió en dos partes principales: las características sobre tuberías comerciales, que se presentan de acuerdo con los diámetros (costos, rugosidad y velocidades máximas y mínimas permitidas) y la topología de la red abierta (representada por tramos de tubería y nodos). La información correspondiente a las tuberías se implementó en un archivo de Excel y la información de la red en el ambiente de AutoCAD, utilizando así el potencial más relevante de cada uno de los paquetes usados.

## INTRODUCCIÓN

Los procesos de cálculo y diseño en las diferentes áreas de la ingeniería requieren el uso cada vez más frecuente del computador, de tal manera que se ha hecho necesario el desarrollo de programas aplicativos especializados, con el fin de mejorar el desempeño y obtener un producto que satisfaga todas las necesidades planteadas.

Desde que se introdujo el uso del computador en los trabajos de ingeniería se han incorporado varias técnicas de programación. Así por ejemplo con el lenguaje Fortran se realizaban programas por módulos, cada uno encargado de hacer cálculos específicos. Con el avance de la programación, e incentivado por el Windows, se popularizó el uso de objetos y eventos en la programación. Adicionalmente, las librerías y muchas otras herramientas de programación facilitan el desarrollo de programas más específicos.

Entre las técnicas de programación se desarrolló una para el manejo de la información que se conoce con el nombre de “árboles binarios”. Esta técnica de programación avanzada se complementa con otra técnica de programación llamada “recursividad”, que facilita el manejo de datos y cálculos.

Tomando como base conceptual el método de optimización de redes parciales sucesivas, se utilizan las técnicas de programación mencionadas, implementadas en AutoCAD mediante el lenguaje VBA (*Visual Basic for Applications*). Se desarrolla así un programa en el que el ambiente gráfico y la máquina de base de datos propios del AutoCAD cumplen un papel importante, permitiendo al usuario dibujar e ingresar la información de la red en un archivo DWG.

Los archivos DWG pueden contener fácilmente el levantamiento topográfico o una imagen 1:1 de la zona donde se debe diseñar la red de distribución. El diseñador dispone de la información topográfica para trazar la red de tuberías, de acuerdo con las características topográficas del terreno.

## EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LAS REDES COLECTIVAS DE RIEGO

El dimensionamiento hidráulico de las primeras redes colectivas de riego se hizo mediante cálculos hidráulicos de tanteo y comprobación. Los condicionantes básicos de diseño eran la cota piezométrica disponible en el punto de alimentación de la red y el caudal de servicio que debía circular por cada ramal. Era evidente que estos condicionantes dejaban el problema indeterminado, permitiendo el dimensionamiento de un gran número de soluciones.

La necesidad de contar con una metodología de cálculo adecuada surgió al comprobar las grandes diferencias de costo que existían entre una y otra solución

adoptada. Debido a lo anterior, se desarrollaron técnicas y normas que permitían un mejor y más rápido ajuste que la metodología de los tanteos indeterminados, pero dichas soluciones seguían estando lejos de la solución óptima. A este segundo grupo de metodologías se las denominó métodos aproximados, cuyos principales criterios condicionantes eran la velocidad máxima recomendable del fluido y el ordenamiento del cálculo de los ramales.

Los métodos de aproximación se remplazaron rápidamente por métodos más eficientes que, además buscaban la solución más económica. Entre estas últimas técnicas se desarrollaron métodos de optimización de redes abiertas a presión, tales como el de la pérdida de carga constante, la programación lineal, los métodos de Labye - Lechapt, el método discontinuo de Labye - Lechapt, el método discontinuo de Labye, las redes parciales sucesivas, la programación dinámica y la condición de óptimo de Lagrange.

## FUNDAMENTO DEL MÉTODO DE LAS REDES PARCIALES SUCESIVAS

El método de las redes parciales sucesivas es un método de optimización que evalúa una red abierta a presión desde el punto de alimentación de la red (cabecera de la red) hasta los puntos terminales (cola de la red), desarrollado por Alfredo Granados.

Para llevar a cabo este método de optimización, se debe realizar un proceso inverso al que se efectúa normalmente en el diseño hidráulico de redes a presión. Por lo general el proceso normal de cálculo de redes se lleva a cabo desde los puntos terminales y hacia el punto de alimentación de la red. Se establece de acuerdo con los requerimientos, el caudal, la presión de servicio requerida, el diámetro y las pérdidas de energía de cada tramo, hasta llegar al punto de inicio de la red para determinar posteriormente la cota piezométrica con que debe contar el sistema en este punto para satisfacer en forma adecuada los requerimientos que se tienen a lo largo de la red.

El método de optimización de las redes parciales sucesivas toma como punto de partida la cota piezométrica del punto de inicio de la red, y a partir de este dato determina mediante iteraciones sucesivas el diámetro óptimo con el costo mínimo para cada uno de los tramos evaluados, verificando constantemente

que el caudal y la presión requeridos por los puntos de toma o derivación cumplan con las especificaciones del diseño. Una vez obtenido el diámetro óptimo de un tramo, se da paso al análisis del tramo siguiente aguas abajo, siguiendo los procedimientos tenidos en cuenta para el tramo o los tramos anteriores y así sucesivamente, hasta analizar todos los tramos que componen la red en estudio.

El método se basa en el hecho de que cada iteración realizada en cualquier tramo de la red da como resultado la mejora de las condiciones hidráulicas en cada uno de los tramos de la red que se vean afectados por la variación de dicho tramo en particular.

Lo anterior equivale a establecer que para el proceso de selección de tramos con gradiente óptimo, si se parte de una cota piezométrica fija en el origen, en la red de estudio de cada estado de cálculo se puede prescindir de todos aquellos tramos situados aguas abajo de la primera toma deficitaria de cada ramal. En esta forma nace el concepto de *red parcial*, definida como aquella subred que, partiendo de la cabecera, finaliza en cada posible trayecto en el primer nodo que no verifica las condiciones de presión estipuladas.

El método de optimización parte, entonces, de una solución inicial en la que todos los tramos que conforman la red tienen las velocidades máximas posibles, de acuerdo con los diámetros comerciales disponibles para el diseño de la red. Calculado el caudal que discurre por cada uno de los tramos de la red, se le da a cada tramo un diámetro tal que la velocidad del fluido esté en el límite o en el valor más próximo a éste, por debajo de la velocidad máxima admisible. Este predimensionamiento se realiza desde el punto de toma o de suministro hasta la derivación más alejada o el punto final de cada ramal y corresponde a la solución más económica, que no siempre satisface hidráulicamente las necesidades de cada punto de toma o derivación. Esta red se denomina la solución previa.

Establecida esta solución previa y como se trata de mejorar la presión en los puntos deficitarios de la red, el proceso de optimización se inicia desde el punto de toma hacia el punto final de la red, y para cada caso, el tramo o tramos que siguen al punto de toma tendrán diámetros comerciales disponibles para los que la velocidad no superará el valor máximo establecido en la solución previa, lo cual implica unas ventajas para llevar a cabo el proceso de optimización. Entre

las ventajas que se tienen en este proceso se destacan las siguientes:

- Se parte de un sistema muy próximo a la solución óptima y, por tanto, se tendrá la solución final en un proceso iterativo relativamente corto.
- Permitirá, al encontrar la solución óptima, definir los diámetros comerciales mínimos requeridos y, por tanto, obtener la solución más económica posible.

De acuerdo con lo que se ha presentado, a partir de la red previa (red cuyos tramos tienen las velocidades máximas) se delimita la primera red parcial, la cual está compuesta por el conjunto de tramos que constituyen los trayectos que desde la cabecera conducen por cada ramal al primer nodo de abastecimiento y en el cual se debe tener muy presente que la presión final de un tramo debe ser superior a la presión requerida por los nodos o puntos de toma localizados aguas abajo del tramo estudiado. La red parcial finaliza en aquel nodo en el que no se cumple esta condición. Es necesario, entonces mejorar la presión en este punto deficitario, reduciendo las pérdidas de energía de cualquiera de los tramos ubicados aguas arriba de este punto.

Como parte fundamental del proceso de optimización se debe evaluar el costo marginal de la mejora de la presión conseguida en un tramo mediante la sustitución de un diámetro por su inmediatamente superior, es decir, que para un tramo específico con características hidráulicas definidas con un costo unitario  $P_1$  y pérdidas de energía  $h_{f-1}$ , el gradiente de cambio que expresa la sustitución del diámetro 1 por el diámetro 2 con costo unitario  $P_2$  y pérdidas de energía  $h_{f-2}$  se expresa así:

$$C = \frac{P_2 - P_1}{h_{f-2} - h_{f-1}} = \left| \frac{\Delta P}{\Delta h_f} \right|$$

El gradiente de cambio  $C$  es el índice que señala el encarecimiento unitario que sufre la red cuando se efectúa, en un tramo, la sustitución de un diámetro por otro inmediatamente superior. Al ser  $C$  creciente con el diámetro, el cambio óptimo de un diámetro siempre se hará por el inmediatamente superior, ya que cualquier otra combinación sería siempre económicamente más desfavorable.



## SISTEMA OPERATIVO

El punto de partida para el análisis de una red por medio del método de las redes parciales sucesivas es el esquema topológico de la red, con los tramos numerados ordenadamente desde el tramo inicial hasta el tramo final. A cada tramo y a cada nudo se les deben conocer las características geométricas e hidráulicas (diámetros, rugosidades, caudales y presiones).

Una vez establecida la cota piezométrica del punto de abastecimiento, se comienza a hacer el cálculo por los tramos que siguen o se derivan del nodo inicial. En estos tramos se debe comprobar que los diámetros empleados tienen la máxima velocidad especificada en los criterios de diseño y que la presión en los nodos existentes aguas abajo sea igual o superior a la requerida en cada uno de ellos. En el caso de que se cumpla este primer objetivo, se continúa analizando tramos aguas abajo hasta que en alguno de los nodos ubicados aguas abajo no se cumpla la especificación de presión mínima requerida o hasta que se llegue al tramo final del ramal en estudio. A este primer tramo analizado se le conoce como “primera red parcial”, ya que es la primera red que se aborda en el cálculo hidráulico.

En esta primera red parcial en algún punto no se están cumpliendo las condiciones hidráulicas requeridas por el sistema. Para superar esta primera red parcial es necesario mejorar la presión en este punto deficitario mediante la modificación del diámetro, por su inmediatamente superior, en uno o varios tramos ubicados aguas arriba del nudo deficitario, sacrificando el costo de la red y teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- En un ramal en que la presión requerida no se obtiene, el gradiente de cambio óptimo  $C'$  es el mínimo de los valores  $C$  correspondientes a cada uno de los tramos componentes del sistema desde el nodo de abastecimiento o inicial hasta el nodo de derivación que se esté analizando.

$$C' = \min (C_1, C_2, C_3, \dots, C_n)$$

- En una ramificación con varias derivaciones con déficit de carga (ramales en paralelo), el gradiente de cambio óptimo equivalente  $C'_e$  del conjunto es igual al valor acumulado de los  $C'_i$  correspondientes a cada uno de los ramales derivados con déficit de carga.

$$C'_e = (C'_1 + C'_2 + C'_3 + \dots + C'_n)$$

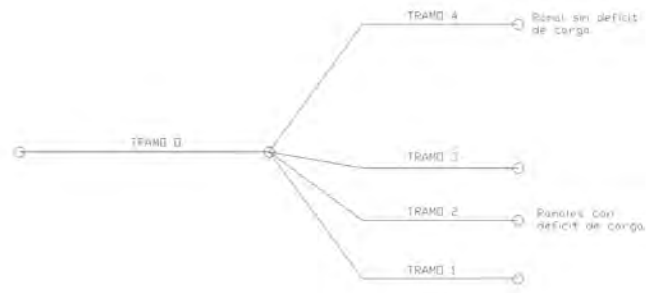


Figura 1. Esquema ilustrativo de una red principal y de redes secundarias.

Es decir, para este último caso se debe evaluar el gradiente de cambio del ramal principal y el gradiente de cambio de los tramos paralelos aguas abajo del ramal principal, y el menor gradiente que se obtenga será la solución óptima buscada.

Las modificaciones de los diámetros óptimos de un tramo se realizan en una proporción adecuada que permita igualar las presiones exigidas en alguno o algunos de los terminales deficitarios (sin sobrepasarlos). Así, si el cambio óptimo corresponde a un tramo principal, este cambio debe realizarse en una proporción tal que iguale la presión del menos exigente de las derivaciones, lo que permite pasar a la siguiente red parcial. Si el cambio óptimo corresponde a los ramales derivados, se modificará el tramo seleccionado en cada uno de ellos. Sólo se efectuará el cambio total del diámetro cuando con ello no se rebase la presión exigida aguas abajo.

El procedimiento descrito anteriormente se debe repetir para cada red parcial del sistema hasta completar la totalidad de las redes componentes del sistema.

La aplicación operativa del método de las redes parciales sucesivas se resume en un conjunto de normas generales que recopilan las bases fundamentales del método:

- En ningún tramo de la red se puede superar la velocidad máxima establecida en los criterios de diseño.
- La presión al final de un tramo debe ser siempre igual o superior a la exigida en cualquier punto aguas abajo.

- El cálculo de la red se debe hacer siempre de cabeza a cola, dimensionando, para la solución previa, cada tramo con el menor diámetro comercial admisible.
- Se define por red parcial aquella de máximo avance posible en todas sus ramificaciones, hasta encontrar un tramo en cada ramal que no verifique la condición mínima de presión exigida.
- El paso de una red parcial a otra consecutiva mayor se realiza aumentando uno o varios diámetros de sus tramos aguas arriba, hasta cumplir estrictamente con el valor de la presión en alguno o algunos de los que previamente no la verificaban. Los tramos en que se aumenta el diámetro son aquellos en los que se recupera la pérdida de carga excedente al menor costo posible ( $\Delta P/\Delta H$  mínimo).
- En la determinación de los tramos óptimos de cambio de diámetro influye la posición de estos en la red. Para mejorar las pérdidas de carga da igual aumentar el diámetro en un tramo de aguas arriba de una ramificación, que en la totalidad de los ramales derivados que tienen déficit de carga.

#### BASE CONCEPTUAL DE LA PROGRAMACIÓN DEL MÉTODO DE LAS REDES PARCIALES SUCEASIVAS.

Para el desarrollo de la aplicación de las redes parciales sucesivas se ha utilizado la programación por objetos y eventos en el lenguaje Visual Basic de Windows, en formatos con botones, ventanas de entradas de datos, menús de selección donde se controla la tecla tabuladora, el cursor del ratón y las teclas que se opriman. Esta programación permite agrupar en una variable objeto, funciones, subrutinas, procedimientos, variables de enteros, reales que pueden ser visibles o invisibles al usuario del objeto.

El uso del lenguaje Visual Basic para aplicaciones (VBA), de Microsoft, permite también programar los productos de Autodesk como AutoCAD, con lo cual es posible disponer de una herramienta gráfica para el manejo de la geometría de la red. Mediante Excel es posible almacenar toda la información sobre precios y características físicas de las tuberías comerciales.

Teniendo en cuenta las ayudas disponibles y el proceso operativo de cálculo establecido en las redes parciales sucesivas para el desarrollo del programa se establecieron objetos, funciones o subrutinas, árboles

multimodales que definieron el algoritmo base con las siguientes características:

- Objetos básicos

*Objeto tubo.* Guarda toda la información relacionada con un tramo de la red (nudo inicial y final, longitudes, diámetros, presión, velocidades, etc.)

*Objeto nodo.* Almacena la información correspondiente al punto de suministro de la red (localización, cota topográfica y cota de alimentación) y a los puntos de conexión de los tramos de ésta.

Con esta estructura, el algoritmo se ha dividido en tres partes básicas: entrada de datos, procesamiento de la información y salida de datos.

La entrada de información de nodos y tuberías se hace directamente en el ambiente gráfico de AutoCAD, y una vez definidas las coordenadas, la información restante se introduce mediante un cuadro de diálogo.

El procesamiento de la información se hace mediante una subrutina que permite, de cabeza a cola, realizar el recorrido de la red para los valores de caudales y presiones. Mediante condicionales se desarrolla el proceso operativo de las redes parciales sucesivas.

#### CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PROGRAMA

La operación del programa es muy sencilla. La interfaz gráfica con AutoCAD le permite al usuario realizar directamente el dibujo e ingresar la información de la red que se quiere calcular y optimizar.

Una vez instalado el programa de optimización de redes abiertas a presión, el acceso se hace desde AutoCAD mediante el comando PGRD, que activa la pantalla inicial que se presenta en la figura 2.

Al continuar con la ejecución del programa se presenta una segunda pantalla (figura 3), en la que se presenta el menú disponible para dibujar la red, ingresar toda la información geométrica, hidráulica y de costos de las tuberías y de la red, mostrar la información mediante tablas o gráficos, y efectuar el proceso de cálculo y optimización del sistema.



Figura 2. Pantalla inicial del programa de optimización de redes abiertas, el cual se ejecuta desde AutoCAD.

En este menú principal, el ingreso de los datos se debe iniciar con los nodos de la red; empieza con el nudo de suministro y se continúa ordenadamente, hasta los puntos terminales, con todos los nodos que permiten configurar los tramos y los ramales de la red. Cada vez que se inserta un nodo, se despliega un cuadro en el que se ingresa la información sobre la cota, presión y caudal.

En la opción “mostrar información” es posible seleccionar la información que se desea visualizar en AutoCAD (por ejemplo, la identificación de cada nodo).

En la figura 4 se presentan algunos de los recuadros que permiten ingresar y manejar la información de la red.

Una vez que se han finalizado el dibujo de la red y el ingreso de la información, es necesario acceder a la base de datos mediante la opción del menú “evaluar costos”. Se despliega una hoja de Excel en la que se encuentra toda la información relacionada con los precios unitarios de la tubería, de la instalación, velocidades máximas, que se debe actualizar de acuerdo con los requerimientos de la red que hay que optimizar.

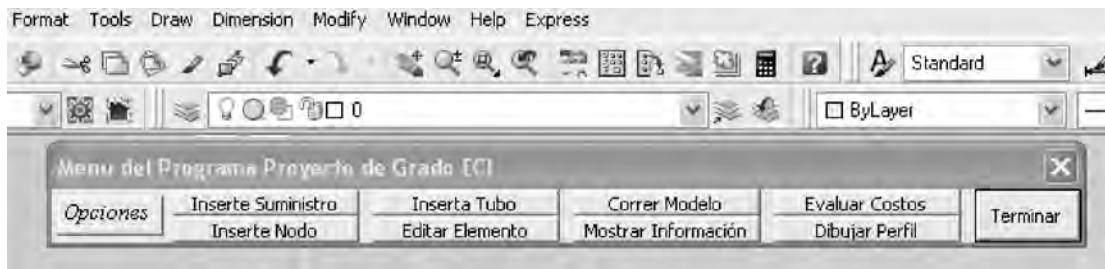
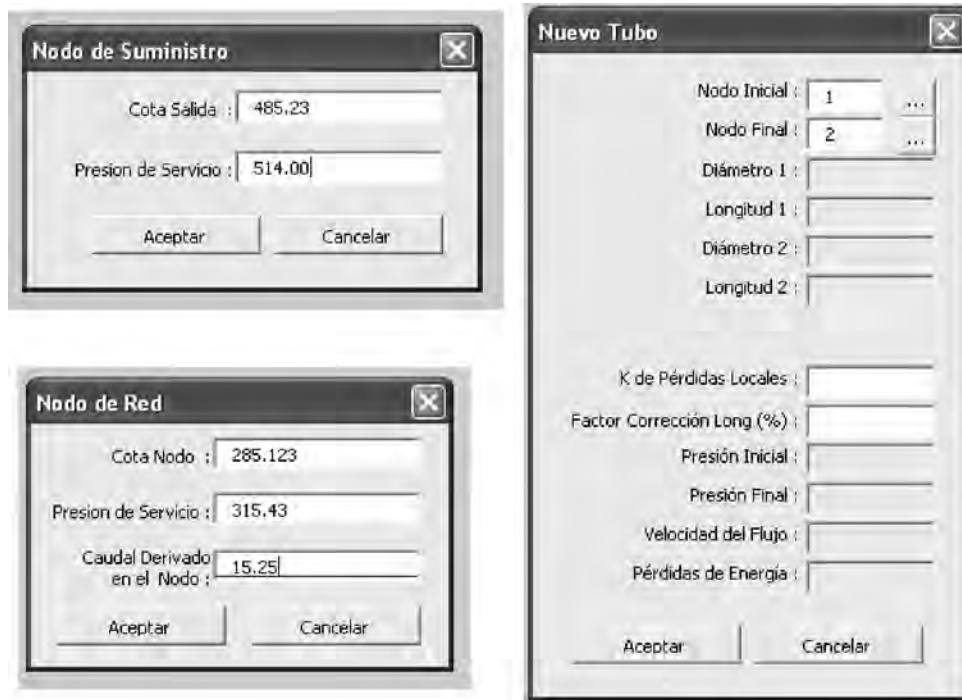


Figura 3. Pantalla con el menú principal desplegable. En este menú se presentan todas las opciones que brinda el programa para optimizar redes abiertas a presión.



**Figura 4.** Algunas ventanas que maneja el programa de optimización de redes abiertas para el ingreso de la información.

Finalizada esta última etapa del programa, se realiza el proceso de optimización de la red utilizando el menú “correr modelo”. El resultado final de este proceso del programa determina, para los caudales exigidos en los diferentes tramos, el diámetro de cada tramo y la presión disponible en cada nudo para la red, cuyo costo es mínimo. La información que arroja el modelo se puede presentar mediante tablas o gráficamente y queda consignada en un archivo .dat.

En la figura 5 se presenta el esquema de una red abierta, dibujada en AutoCAD y analizada con esta nueva herramienta de optimización.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El modelo *optimización de redes abiertas* a presión, de los que existen muy pocos para uso de dominio público, es una moderna y poderosa herramienta de cálculo hidráulico en la que la solución final corresponde a la red de costo mínimo de todas las posibles soluciones. Es útil en el diseño de sistemas para suministro de agua potable en edificaciones, redes de incendio, redes de suministro de agua potable en la zona rural y redes colectivas de riego.

En la actualidad, el diseño de estos sistemas se realiza para cumplir solamente con los requerimientos de caudales y presiones y se dejan a un lado los costos de construcción, mantenimiento y operación de ésta.

En este modelo que se presenta a la comunidad y cuyo proceso de optimización utiliza el método de las redes parciales sucesivas, el diseño de una red es integral porque aparte de cumplir con los requerimientos hidráulicos, asegura que la red diseñada es de costo mínimo.

Desde el punto de vista hidráulico el modelo es versátil, evalúa pérdidas de energía debidas a la fricción utilizando diferentes ecuaciones como Darcy, Manning y Hazen Williams. Igualmente, de acuerdo con las características de las redes abiertas, el modelo está en capacidad de definir caudales, teniendo en cuenta la simultaneidad de funcionamiento de los puntos de toma.

Desde el punto de vista gráfico, el diseño óptimo de una red viene acompañado con la obtención de los planos correspondientes en formato DWG.

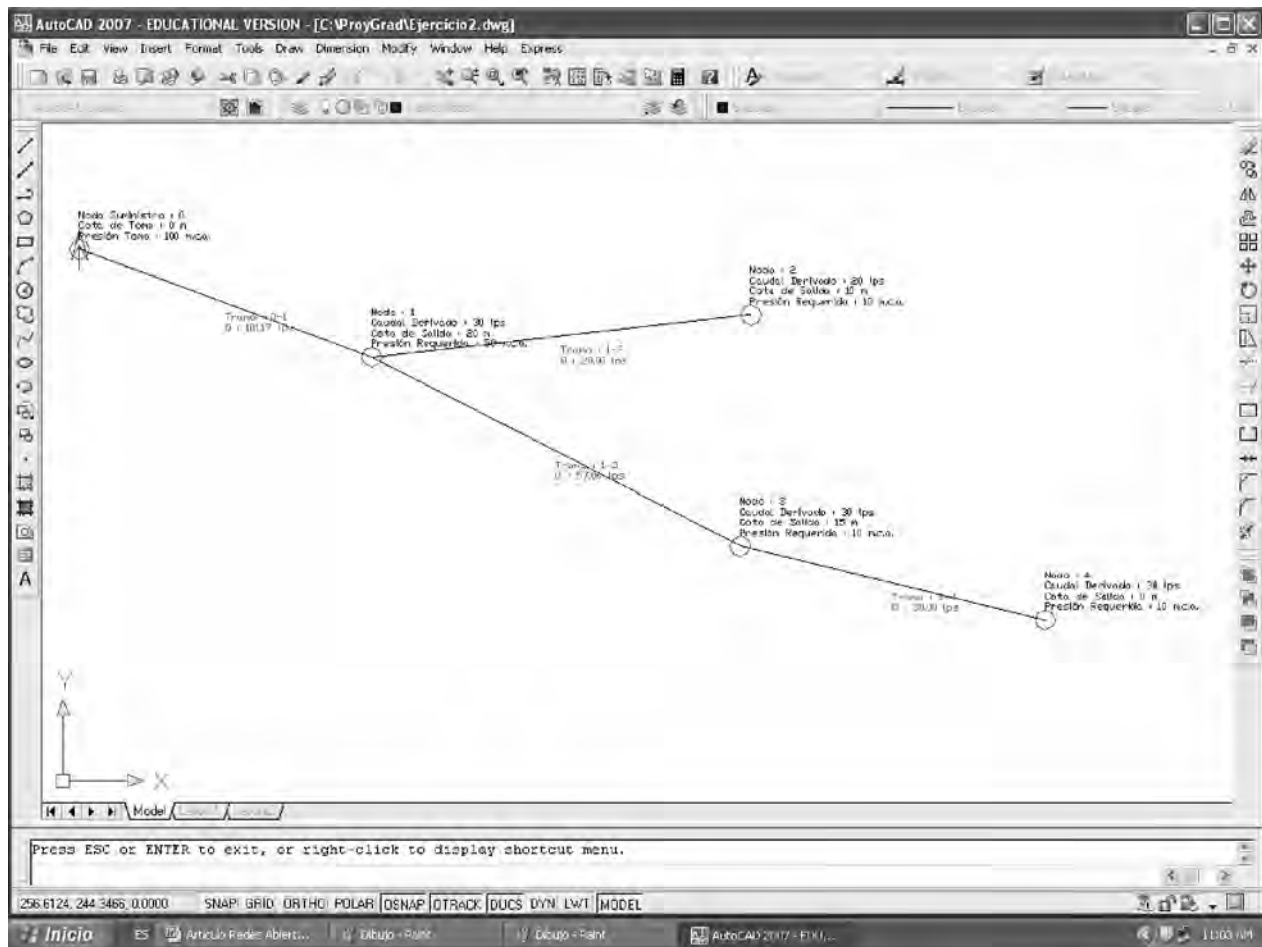


Figura 5.

## BIBLIOGRAFÍA

- Redes Colectivas de Riego a Presión (1986). *ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos*. Madrid.
- Técnica y Tecnología del Riego por Aspersión (1981). España: Ministerio de Agricultura.
- Un méthode de recherche opérationnelle pour l'étude des réseaux d'irrigation sous pression. Girette.
- Rodríguez Díaz, Héctor Alfonso. *Diseños hidráulicos, sanitarios y de gas en edificaciones*. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Labye-Lechapt. Méthodes permettant de déterminer les caractéristiques optimales d'un réseau de distribution de'eau. Boletín 50.
- Design of optimal hydraulics Networks (1968). Jacoby.
- Rodríguez Díaz, Héctor Alfonso. Apuntes del curso Sistemas a presión de la Maestría en Ingeniería Civil y de la Especialización en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente de la Escuela.

EDUCACIÓN

# El aprendizaje situado como una alternativa en la formación de competencias en ingeniería

## Primera parte

HERNÁN PAZ PENAGOS

Candidato a Ph.D. en Educación, énfasis: educación en ingeniería, línea de investigación: Resolución de Problemas. Programa Presencial Interinstitucional entre las universidades Pedagógica Nacional, Distrital Francisco José de Caldas y Universidad del Valle. Magíster en Teleinformática de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Ingeniero electricista de la Universidad Nacional de Colombia. Ingeniero electrónico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y filósofo de la Universidad Santo Tomás de Aquino. Docente del área de comunicaciones, Facultad de Ingeniería Electrónica de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. hernan.paz@escuelaing.edu.co.

Artículo recibido: 9/06/2008  
Evaluación par interno: 15/10/2008  
Aprobado: 17/10/2008

### Resumen

Frente a la demanda de profesionales cada vez más calificados y a las limitadas oportunidades del mercado laboral, se plantea la necesidad de revisar las estrategias de enseñanza a las instituciones de educación superior. En este sentido, se perfila la metodología de la cognición situada como una alternativa que puede ser efectiva en la formación por competencias en ingeniería.

En el artículo se describen los principios básicos del aprendizaje situado; se destacan la importancia de la actividad, el contexto, la cultura, la mediación, la construcción conjunta de significados y los mecanismos de participación guiada; así mismo, se presentan las nociones de competencia, la clasificación de éstas, los avances educativos en formación por competencias en Colombia y la formación de competencias en ingeniería. Al final, se correlaciona el aprendizaje situado con la formación de competencias en ingeniería como una alternativa educativa que potencia la aplicación de conocimientos y favorecen la metacognición como estrategias dinamizadoras del proceso.

**Palabras claves:** aprendizaje situado, competencias profesionales, interacción, enseñanza experiencial.

### INTRODUCCIÓN

La preocupación por los bajos resultados académicos en la formación de ingenieros ha generado numerosas reflexiones sobre nuevas estrategias de enseñanza para un aprendizaje efectivo; esta inquietud surge en principio en estudios de psicología; más tarde, hacia mediados de los años setenta, los trabajos sobre aprendizaje se desarrollan en gran medida sobre dos modelos: la teoría piagetiana del desarrollo cognitivo y los tipos de aprendizaje gagnetiano, de corte conductista. Estos modelos entran en crisis ante el surgimiento de los esquemas constructivistas.

La influencia del constructivismo se refleja en las investigaciones sobre cognición situada, que desde los años ochenta buscan identificar y categorizar el aprendizaje situado. Los teóricos de la cognición situada revalorizan los procesos de aprendizaje situados en contextos prácticos y laborales, y hacen una crítica radical del aprendizaje institucionalizado y formal basado en un enfoque instruccional empírico-positivista<sup>2</sup> tradicional, que enseña contenidos declarativos<sup>3</sup>, abstractos

y descontextualizados<sup>4</sup>; tratados de manera neutral, escasamente motivantes, ajenos, autosuficientes e independientes de las prácticas sociales, de la cultura a la que pertenecen. Estas visiones tradicionales de enseñanza actúan como verdaderos obstáculos epistemológicos, que con facilidad mediatiza sus actuaciones en el aula, por lo que aun tomando conciencia de su insuficiencia, el profesorado se resiste a cambiarlas.

La teoría de la cognición situada relativiza la importancia de las estructuras formales de aprendizaje y critica explícitamente a la escuela como lugar de aprendizaje en el que se aprenden, principalmente, normas escolares<sup>5</sup>. El aprendizaje debe considerarse un proceso de aumento de experiencias y no una transferencia unidimensional de conocimientos. Frente a esto, Borrás (1999) afirma que el aprendizaje es producto de la inmersión de los sentidos en el contexto, no de la retención memorística y descontextualizada. El aprendizaje situado también critica implícitamente las estrategias actuales de promoción con su orientación individualizada, y destaca la dimensión social de los procesos de adquisición de competencias. Esta concepción del aprendizaje implica un cambio radical de perspectiva de todas las formas tradicionales de transmisión del conocimiento y las prácticas establecidas en este contexto.

## EL APRENDIZAJE SITUADO

Para evitar simplificaciones o ambigüedades en la comprensión de las nociones básicas del aprendizaje situado, se va a revisar, paso a paso, cada uno de los siguientes aspectos: 1) Aprendizaje; 2) Definición, origen y otras perspectivas derivadas del aprendizaje situado; 3) Características fundamentales; 4) Propuestas de los autores más representativos; 5) Evolución del término “cognición situada”, y 6) Implicaciones didácticas que se puedan extraer para la formación por competencias.

**Aprendizaje.** Es la acumulación de cambios en el potencial conductual de un individuo logrados por medio de la experiencia; existen dos tipos de aprendizaje: aprendizaje por observación, modelado o imitación, y aprendizaje por instrucción.

**Aprendizaje situado.** También llamado “aprendizaje anclado”, es una serie de cambios en las formas de comprensión y participación de los sujetos en una actividad conjunta y sobre un contexto pertinente. El

aula de clase es un espacio de interacción de ideas, representaciones y valores, en el cual los participantes negocian los significados y construyen conscientemente el conocimiento. La enseñanza contextualizada es un factor que hace concreto, práctico y aplicable el conocimiento.

**Origen.** Streibel afirma que el concepto de aprendizaje situado toma forma y nombre, gracias a un escrito presentado por J. Brown; A. Collins y P. Duguid en 1989. Estos autores descubren que la actividad y las situaciones son integrales a la cognición y al aprender; además, discuten la naturaleza situacional del conocimiento<sup>6</sup> y la interpretan como un “producto de la actividad, del contexto y la cultura en la cual se desarrolla y utiliza” (Streibel, 1989, 215-234).

**Otras perspectivas derivadas del aprendizaje situado.** 1) Aprendizaje experiencial<sup>7</sup> (Dewey, 1938); 2) Aprendizaje artesanal<sup>8</sup> (Daniels, 2003); 3) Aprendizaje cognitivo, *Cognitive Apprenticeship* (Rogoff, 1993); 4) Participación periférica legítima (Lave y Wenger, 1991); 5) Aprendizaje por transferencia, y 6) Aprendizaje *in situ*, son algunas de las perspectivas derivadas de los estudios sobre aprendizaje situado. Todas ellas buscan legitimar la mezcla de lo cognitivo individual con la situación contextual, porque se quiere mantener al sujeto como cognitivamente activo, mientras se enfatiza la importancia de integrarse a un entorno sociocultural, con sus necesidades y exigencias.

## Características del aprendizaje situado

- Es una experiencia social situada que se enriquece con experiencias de otros, con recursos compartidos y con prácticas sociales comunes, en la cual el lenguaje cumple un papel básico como herramienta mediadora.
- Se fundamenta sobre el concepto de que el conocimiento es contextual y situado, e influenciado por la actividad, los agentes y elementos del entorno y la cultura en la cual se utiliza. Aunque la duplicación exacta es a menudo imposible, la réplica cercana a un contexto verdadero del mundo mejora el aprendizaje; en este sentido, en el aula de clase y en la comunidad de aprendices, se debe rediseñar el ambiente de aprendizaje, para que los actores puedan participar de manera productiva en auténticas experiencias cognoscitivas compartidas.

- Según la visión de la cognición situada, la enseñanza se debe centrar en prácticas educativas auténticas. La autenticidad de una práctica educativa está determinada por el grado de relevancia cultural de las actividades sociales, por las prácticas compartidas en las que participa el estudiante, así como por el tipo y nivel de actividad social que éstas promueven (Derry, Levin y Schauble, 1995).
- En esta propuesta cognitiva son muy importantes la mediación<sup>9</sup>, el impulso por el adulto y otros compañeros, la negociación mutua de significados, la construcción conjunta de los saberes y las estrategias que promuevan un aprendizaje cooperativo, colaborativo o recíproco.
- En los procesos culturales los niños se apropian de las herramientas, adquieren y amplían sus habilidades, desarrollan sus estructuras mentales y su inteligencia, gracias a la participación guiada de los adultos que estructuran y modelan las soluciones más adecuadas (Rogoff, 1993, 63).

#### Propuestas de los autores más representativos

**Barbara Rogoff**<sup>10</sup>. Sus investigaciones por más de 30 años se orientan al estudio de las estructuras de aprendizaje informal que se presentan en el interior de algunas comunidades tradicionales. En su primer libro, *La naturaleza cultural del desarrollo humano*, hace una aproximación al desarrollo humano desde una visión cultural e histórica; analiza los modos en que comunidades indígenas de América<sup>11</sup>, Asia<sup>12</sup>, África<sup>13</sup> y Oceanía<sup>14</sup> permiten a sus miembros involucrarse en actividades laborales especializadas y en prácticas de crianza en dichas comunidades. El niño, en los primeros años, es guiado por un adulto que le transmite los conocimientos y actitudes propios de su grupo sociocultural (participación guiada); más tarde, desarrolla su aprendizaje en la interacción con el medio natural y social, y depende de la observación, la imitación, la práctica y experimentación según sus vivencias.

En la segunda obra, *Aprender juntos: niños y adultos en una comunidad de la escuela*, Barbara Rogoff ilustra los principios de aprender en comunidad<sup>15</sup>, en el cual la colaboración es central (entre niños, y entre los niños y adultos); los niños aprenden con eficacia cuando están implicados con otros que comparten sus intereses, construyendo conocimiento juntos; los adultos también

ganan en este proceso porque aprenden de su implicación con los niños.

Algunos de sus aportes son:

- Concibe el desarrollo cognitivo del niño inmerso en el contexto de las relaciones sociales, los instrumentos y las prácticas socioculturales.
- Definir el proceso de transmisión de instrucciones y experiencias por parte de los adultos como una participación guiada<sup>16</sup>. Este concepto está emparentado con el modelo del andamiaje de Bruner (1986).
- Se adquieren los procesos psicológicos superiores, exclusivos de los humanos, únicamente mediante la interacción con otros; es decir, a través de procesos intersíquicos que sólo más tarde el individuo podrá llevar a cabo independientemente.

**Jean Lave**<sup>17</sup> y **Etienne Wenger**<sup>18</sup>. Para estos autores, el aprendizaje situado es un aspecto inseparable e integral de cualquier práctica social. La noción de aprendizaje situado indica el carácter contextualizado del aprendizaje que no se reduce a las nociones convencionales de aprendizaje *in situ* o aprendizaje haciendo, sino a la participación del aprendiz en una comunidad de práctica; esto es, en un contexto cultural, social, de relaciones, del cual se obtienen los saberes necesarios para transformar la comunidad y transformarse a sí mismo.

Lave y Wenger indagan cómo se adquiere el conocimiento en dependencia de un contexto situacional y cómo influyen los elementos de éste en la construcción de un aprendizaje significativo; del mismo modo, exaltan la participación, la interacción y el compromiso del aprendiz dentro de una realidad, como características esenciales en la construcción consciente del conocimiento; parafraseando a Lave (1997), enseñar es aprender en la práctica. Lave y Wenger enriquecen su teoría sobre aprendizaje situado en el libro *Comunidades de práctica* (2001) con el análisis de los sistemas tradicionales de aprendizaje de cinco estudios de caso: parteras de Yucatán<sup>19</sup>, sastres de Vai y de Gola<sup>20</sup> (África Occidental), intendentes de la marina de guerra de Estados Unidos<sup>21</sup>, cortadores de carne<sup>22</sup>, y alcohólicos que abandonaron el licor<sup>23</sup>.

Las comunidades de práctica son “grupos de personas que comparten una preocupación por un problema



o un interés sobre un asunto, y que profundizan su conocimiento en esta área obrando recíprocamente sobre una base en curso” (Wenger, 2001, 4); para ello, acuden a un legado de entendimiento cultural, social y situacional a través del cual se facilita el emprendimiento de tareas y actividades comunes. Las comunidades de práctica son comunidades informales que obran a través de departamentos y se construyen alrededor de tres dimensiones: contrato mutuo, empresa común y participación, y se estructuran por medio de algunos elementos: identidad, dominio común, comunidad social, ideas, herramientas, lengua e información (Wenger, 2001).

En el libro *Aprendizaje situado, participación periférica legítima* (2001), Jean Lave y Etienne Wenger describen la participación periférica legítima como una forma inicial de aprendizaje de la comunidad de práctica<sup>24</sup>. Las personas que se vinculan a las comunidades de práctica aprenden inicialmente en la periferia; mientras se hacen más competentes, después se trasladan al centro de la comunidad particular; aprender, así, es un proceso de participación social. Frente a la pregunta ¿qué tipos de elementos ofrece un contexto adecuado para que el aprendizaje suceda?, responden que un entorno de aprendizaje situado debe por lo menos posibilitar al aprendiz los siguientes elementos: 1) La interacción dentro de un contexto sociocultural, 2) La interacción con un evento que se torne común para dicho contexto social, 3) Las posibilidades situacionales que le permitan generar actividad, 3) Unos recursos contextuales que conduzcan a la acción, y 4) La toma de decisiones. Todo lo anterior facilita al individuo ser actor de su propia construcción, desde la participación, el contacto directo con la situación para su interpretación, la negociación de significados, la clasificación y aprehensión del contenido relevante, la interacción colaborativa, la solución de problemas emergentes, la asistencia significativa de un experto (andamiaje significativo), y dentro de todo esto, asegurar la pertenencia en una comunidad de práctica.

Puntos débiles del aprendizaje situado como participación periférica legítima:

- Este movimiento sostiene que la verdad es socialmente construida; sin embargo, la comunidad de práctica está constituida por individuos que tienen una percepción individual parcial, particular, fragmentada, múltiple, temporal, contextual y compleja.
- Los jóvenes aprendices que se vinculan a las comunidades de práctica se entregan a ellas con un elevado nivel de identificación; con todo, se trabaja en su interior con base en la presión moral y en la persuasión ejercida por la misma comunidad que legitima la modalidad instruccional; no hay posibilidad de explorar o contribuir de manera única y significativa al aprendizaje comunitario; frente a esta situación, la libertad de acción de los jóvenes se podría sentir coartada y limitada por el control del grupo o colectivo.
- En las comunidades de práctica no se abren espacios para que el nuevo miembro construya su aprendizaje dentro de la comunidad; si el novato no tiene el criterio formado, no será capaz de crear un aprendizaje que la comunidad pueda aprobar o aceptar. La única elección posible es permanecer o ausentarse del grupo.
- A pesar de que los miembros quieran distanciarse, en algunos casos no lo pueden hacer por el carácter cerrado y esotérico de estas organizaciones.

Al parecer, esta perspectiva del aprendizaje situado como participación periférica legítima no está interesada en aprendices y docentes, sino más bien en descentrar la actividad comunitaria de la autoridad del docente, del conocimiento y el proceso de aprendizaje.

**Michael Cole**<sup>25</sup>. Es uno de los psicólogos norteamericanos que más han contribuido a dar a conocer la obra de Vigotsky; hizo un acercamiento cultural-histórico a la psicología cultural de su época a través de sus interacciones con Alexander Luria (quien realizó estudios sobre los uzbekos<sup>26</sup>) y de la lectura de los textos de Vigotsky. Michael Cole, en sus escritos, busca esclarecer el concepto de contexto; las acciones concretas de cada ser humano, enmarcadas en la cultura, tienen lugar en un contexto concreto (Cole, 1999); lo específico de los procesos psicológicos humanos es que están mediados culturalmente, se han desarrollado históricamente y surgen a partir de la actividad práctica (Cole, 1999, 108).

**Evolución del término “cognición situada”**. La idea de concebir el aprendizaje como un producto de la actividad situada nace de los aportes legados por Lev Semionovitch Vigotsky. El aprendizaje es un proceso generado intencionalmente por el individuo, en el cual se internaliza el conocimiento externo, como resultado

de la interacción entre la información procedente del medio y el sujeto; el alumno desempeña un papel activo en el proceso de construcción del conocimiento: es quien aprende involucrándose con otros en un proceso de construcción social. Los exponentes más representativos de este paradigma, tales como Rogoff (1993), Lave (1991), Bereiter (1997), Engeström y Cole (1997), Wenger (2001), toman como referencias los escritos de Lev Vigotsky<sup>27</sup> (1985) y de otros autores como Leontiev<sup>28</sup> (1983) y Alexander Luria<sup>29</sup> (1984).

### LA FORMACIÓN POR COMPETENCIAS EN INGENIERÍA EN COLOMBIA

Los expertos sitúan los orígenes del concepto contemporáneo de competencia<sup>30</sup> en la filosofía clásica griega, porque en esta civilización antigua se abordaron los temas de estudio desde problemas contextualizados, interrogando la realidad, que es el estado de la cuestión en la conceptualización actual de las competencias.

De acuerdo con el Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior (Icfes), competencia es un “saber en contexto”, es decir, es un conjunto de acciones que el estudiante realiza en un entorno particular y que responde a sus exigencias específicas<sup>31</sup>. En el ámbito internacional, el Consejo Nacional de Cualificación del Reino Unido (1994) define la competencia como la “capacidad de realizar las actividades correspondientes a una profesión, conforme a los niveles esperados en el empleo”<sup>32</sup>; según esta definición, el concepto de competencia también incluye la capacidad de transferir las destrezas y conocimientos a nuevas situaciones dentro del área profesional; esta flexibilidad suele implicar un nivel de destrezas y conocimientos mayor de lo habitual. Las competencias representan una combinación de atributos (con respecto al conocimiento y sus aplicaciones, aptitudes, destrezas y responsabilidades) que describen el nivel o grado de suficiencia con que una persona es capaz de desempeñarlos.

La clasificación más corriente de las competencias en la educación superior las divide en competencias básicas, genéricas y específicas; en educación básica, es común la clasificación en competencias interpretativa, argumentativa y propositiva. Las competencias también se enfocan en *saber cómo conocer y comprender* (conocimiento teórico de un campo académico, la capacidad de conocer y comprender), *saber cómo actuar* (la aplicación práctica y

operativa del conocimiento a ciertas situaciones), *saber cómo ser* (los valores como parte integrante de la forma de percibir a los otros y vivir en un contexto social).

Paralelo al desarrollo de competencias profesionales en la educación formal se han incorporado nuevos tipos de competencias, tales como las competencias laborales<sup>33</sup>. La creación de sistemas de formación para el trabajo surge desde la década de los ochenta, a raíz de la necesidad de las empresas de prepararse a sus empleados para un estado continuo de competencia local, regional y global, que permita, entre otros aspectos, fortalecer la competitividad laboral, flexibilizar la fuerza laboral, facilitar la educación continua de acuerdo con los requerimientos de las empresas, orientar los sistemas educativos para que respondan a las necesidades empresariales y posibilitar la certificación de las competencias laborales, independientemente de los estudios realizados<sup>34</sup>.

En Colombia, al igual que en otros países de América Latina, se hacen esfuerzos por implementar la metodología de formación de competencias en la educación básica<sup>35</sup>, principalmente a partir de la última década del siglo pasado. Se han logrado grandes avances teóricos y prácticos en tal dirección; numerosas instituciones han adquirido experiencias valiosas y se han producido importantes publicaciones sobre el tema, pero aún es grande la confusión en un amplio sector de la educación básica respecto al sentido, la aplicación y la relación que hay entre los conceptos asociados a la metodología, como por ejemplo los logros, los indicadores de logro, los lineamientos curriculares, los estándares y, por supuesto, las competencias.

Por su parte el Sena<sup>36</sup>, en el nivel de educación técnica, ha asumido el liderazgo de la formación por competencias en el país, aunque también existen aportes valiosos de Colciencias y de otras entidades.

La educación superior es la más atrasada en relación con la puesta en marcha de currículos estructurados a partir de la formación de competencias. Una de las razones es que en la educación superior no existen normas taxativas que impongan el uso de esta metodología, a pesar de que este tema se trata en las normas vigentes sobre las características específicas de calidad para los programas de formación profesional de pregrado<sup>37</sup>.

No obstante lo anterior, en el sector universitario, específicamente en ingeniería, hay un interés creciente respecto a la citada metodología. Durante los años recientes se ha explorado el tema en muchas instituciones

y se ha procurado la capacitación de los docentes; hoy existen muchos currículos de pregrado que incluyen la metodología de formación por competencias, con diversos enfoques. De hecho, esto conducirá a una etapa posterior de consolidación, evaluación y ajuste de la metodología. Además, la implementación de los Ecaes basados en la evaluación de competencias a partir de 2005, con seguridad acelerará la reorientación metodológica en los programas académicos de pregrado.

Entre los criterios generales para la acreditación de programas de ingeniería, para evaluaciones hechas durante el ciclo de acreditación 2005 - 2006, la Abet<sup>38</sup> incluye los resultados que deben obtener los programas que aspiren a ser acreditados. Como parte de esos resultados se debe describir lo que se espera que los estudiantes sepan y sean capaces de hacer cuando se gradúen como ingenieros. Esto se refiere a las habilidades, los conocimientos y los comportamientos que los estudiantes deben adquirir a su paso por el programa. Así, los programas de ingeniería deben demostrar que sus graduandos alcanzan:

- La capacidad de aplicar conocimientos de matemáticas, ciencias e ingeniería.
- La capacidad de diseñar y dirigir experimentos, así como de analizar e interpretar datos.
- La capacidad de diseñar sistemas, componentes o procesos para satisfacer determinadas necesidades, teniendo en cuenta restricciones prácticas de tipo económico, ambiental, social, político, ético, y de salubridad, seguridad, fabricación y sostenibilidad.
- La capacidad para trabajar en equipos multidisciplinares.
- La capacidad para identificar, formular y resolver problemas de ingeniería.
- La comprensión de la responsabilidad profesional y ética.
- La capacidad de comunicarse eficazmente.
- Una educación suficientemente amplia para comprender el impacto de las soluciones de ingeniería en un contexto global, económico, ambiental y social.
- El reconocimiento de la necesidad y la capacidad de aprender a lo largo de la vida profesional.
- El conocimiento de los problemas contemporáneos.
- La capacidad de utilizar las técnicas, las habilidades y las herramientas modernas de ingeniería que sean necesarias para la práctica de la profesión.

En relación con el componente profesional del currículo de cada especialidad de la ingeniería, la Abet específica las áreas que se deben incluir pero no determina los cursos que deben formar parte de ellas ni las competencias específicas que deben adquirir los estudiantes<sup>39</sup>.

#### IMPLICACIONES DIDÁCTICAS QUE SE PUEDAN EXTRAER DEL APRENDIZAJE SITUADO PARA LA FORMACIÓN POR COMPETENCIAS

La interacción social favorece la formación de competencias mediante la creación de conflictos cognitivos<sup>40</sup> que causan un cambio conceptual. El intercambio de información entre compañeros que tienen diferentes niveles de conocimiento provoca una modificación de los esquemas del individuo y acaba desarrollando competencias y generando aprendizaje, además de mejorar las condiciones motivacionales de la instrucción.

El aprendizaje situado es una alternativa metodológica que facilita la formación por competencias de ingeniería por las siguientes razones: 1) es un aprendizaje activo; 2) favorece la formación integral; 3) promueve la autonomía del individuo (en el sentido kantiano, llevarlos a ser adultos) y la toma de decisiones, 4) forma ingenieros estratégicos<sup>41</sup> y autorregulados<sup>42</sup>, con pensamiento científico y capacidades para analizar, interpretar y resolver problemas de manera creativa, analítica y crítica; 5) supera los reduccionismos y las visiones deformadas de la naturaleza de la ciencia que impregnan la epistemología espontánea del profesorado, 7) facilita la formación de profesionales que transfieran conocimiento, teoría y métodos desde el campo aprendido a nuevos campos o campos afines a su saber disciplinar; 8) transforma en los docentes su propio conocimiento del contenido en representaciones pedagógicas que conecten con las necesidades sociales y disposiciones de sus alumnos; 9) convierte a los docentes en mediadores, constructores y reconstrutores de los saberes de los estudiantes, acercándolos no sólo a los conocimientos elaborados por la humanidad, sino al conocimiento de sus propias habilidades de aprendizaje (metacognición), para que éstos a su vez se transformen de receptores de conocimientos ya elaborados, en permanentes buscadores indagadores y proponentes de opciones, siempre desde la reflexión del sentido para sí mismos y su entorno,

todo lo cual podría resumirse en enseñarles a los estudiantes a aprender, 9) orienta la enseñanza hacia el desarrollo de procesos cognitivos y metacognitivos, que conduzca a los estudiantes a la construcción del conocimiento, al metaaprendizaje y al aprendizaje contextual (Gijsselaers, 1996).

Con la aplicación de este modelo es posible formar profesionales que dominen su saber disciplinar, que incorporen en sí mismos una teoría de procesos, valores y capacidad crítica; además, que sepan relacionar lo técnico y lo científico con lo social, cultural y humano, de tal manera que su acción profesional, orientada hacia el desarrollo humano, contribuya a racionalizar el aprovechamiento de los recursos aproximando las demandas de la sociedad con los criterios de productividad, preservación ambiental y desarrollo sostenible, promueva el diálogo de la sociedad con la naturaleza, y fomente el tratamiento racional de los problemas de la sociedad a través del uso del conocimiento y el respeto por sus saberes acumulados. El grupo Resprom (2005), conformado por profesores de ciencias e ingeniería de la Universidad Industrial de Santander, ha realizado un importante proyecto basado en utilizar la resolución de problemas como estrategia de la cognición situada para favorecer la comprensión de los saberes y para desarrollar competencias específicas en los estudiantes de estas áreas del conocimiento.

Otras estrategias de enseñanza, tales como trabajo cooperativo o colaborativo en grupos, enseñanza basada en problemas, trabajo en clase por proyectos, etc., tienen características similares a las ya anotadas, que se adaptan muy bien a las metas de transferencia que se pretende alcanzar en la formación por competencias en ingeniería.

## CONCLUSIONES

El aprendizaje situado hace que la adquisición de competencias como resultado del aprendizaje no sea tanto el resultado de la consolidación de un mayor o menor saber y capacidad, sino de la posibilidad de participación activa en tareas colectivas. No se construye el conocimiento en aislamiento, sino en interacción con insumos y relaciones humanas, con significado compartido por los miembros del grupo (Bruner, 1986).

Cuando el contexto de aprender presenta opciones de la realidad, y el aprendizaje se circunscribe en

el sujeto a la construcción por sí mismo, y a la vez el estudiante tiene la posibilidad de evaluar su proceso en una circunstancia guiada por el docente, las capacidades se potencian y se logran las competencias necesarias para la adquisición de un determinado conocimiento.

En las aulas de ingeniería, no es posible en todo momento contar con eventos que permitan el desarrollo de actividades reales y contextualizadas, ¿cómo se podrían diseñar actividades pedagógicas que integren los elementos que propone la cognición situada?. Una opción es posibilitar un entorno de realidad, que permita a los aprendices generar un pensamiento consciente y ajustado a las necesidades situacionales, a través de entornos de simulación computarizada, espacios que pueden emplearse para generar entornos situacionales de realidad social, cultural y de actividad.

Con frecuencia, en la cultura escolarizada se intenta hacer un símil de las prácticas o actividades científicas que realizan los expertos. Se pretende que los alumnos piensen y actúen como matemáticos, biólogos, etc. Sin embargo, la enseñanza no transcurre en contextos significativos, no se enfrenta a los estudiantes ni a problemas, ni a situaciones reales. Así no se promueve la reflexión en la acción, ni se enseñan estrategias adaptativas y extrapolables. Lo que les corresponde a los educadores es investigar y experimentar sobre cuáles son los tipos de aprendizaje que requieren una situación o contexto sociocultural determinado, que apoyen la actividad cooperativa de los estudiantes y reflejen la interacción compleja entre lo que ya saben y lo que están aprendiendo.

Se propone conceptualizar las competencias como procesos complejos que las personas ponen en acción-actuación-creación, para resolver problemas y realizar actividades (de la vida cotidiana y del contexto laboral-profesional), aportando a la construcción y transformación de la realidad, para lo cual integran el saber ser (automotivación, iniciativa y trabajo colaborativo con otros), el saber conocer (observar, explicar, comprender y analizar) y el saber hacer (desempeño basado en procedimientos y estrategias), teniendo en cuenta los requerimientos específicos del entorno y las necesidades personales, con autonomía intelectual, conciencia crítica, creatividad y espíritu de reto, asumiendo las consecuencias de los actos y buscando el bienestar humano.

Desde la perspectiva de la cognición situada sería interesante investigar en estrategias de cambio con-

ceptual y formación de competencias para ingenieros. Los trabajos realizados en este campo (metodología basada en resolución de problemas) destacan la idea de que todo cambio conceptual se genera a partir de un cambio metodológico que permite a los estudiantes desarrollar destrezas metacognitivas. Además, en todo este proceso, el cambio de actitudes de los estudiantes es, también, un elemento que hay que tener en consideración (Carrascosa y Gil, 1985).

## BIBLIOGRAFÍA

- Bereiter, C. (1997). Situated cognition and how to overcome it. En D. Kirshner y J. A. Whitson (eds.). *Situated cognition. Social, semiotic and psychological perspectives*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum, pp. 281-300.
- Borras, I. (1999). Enseñanza y aprendizaje en la internet: una aproximación crítica. <http://www.didacticahistoria.com/tecedu/tecedud12htm>.
- Brown, J.; Collins, A. & Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher*, 18(1), 33-42.
- Bruner, Jerome (1986). *Actual minds, possible worlds*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Carrascosa, J. & Gil, D. (1985). La metodología de la superficialidad y el aprendizaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 3 (2), pp. 113-120.
- Cole, M. (1999). *Psicología cultural*. Madrid: Morata.
- Daniels, H. (2003). *Vigotsky y la pedagogía*. Madrid, España: Paidós.
- Derry, S., Levin, J. & Schauble, L. (1995). Stimulating statistical thinking through situated simulations. *Teaching of Psychology*, 22 (1), 51-57.
- Dewey, J. (1938/1997). *Experience and education*. New York: Simon and Schuster.
- Dewey, J. (1989). *Cómo pensamos: nueva exposición de la relación entre pensamiento reflexivo y proceso educativo*. Barcelona: Paidós.
- Engestrom, Y. & Cole, M. (1997). Situated cognition in search of fan agenda. En D. Kirshner & J.A. Whitson (eds.). *Situated cognition. Social, semiotic and psychological perspectives*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum, pp. 301-309.
- Díaz Barriga, F. (2003). Cognición situada y estrategias para el aprendizaje significativo. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, vol. 5, No. 002. México: Universidad Autónoma de Baja California, pp. 105-117.
- Icfes (1999). Nuevo examen de Estado para el ingreso a la educación superior. Bogotá.
- Lave, J. (1997). The culture of acquisition and the practice of understanding. En D. Kirshner & J. A. Whitson (eds.). *Situated cognition. Social, semiotic and psychological perspectives*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum, pp. 301-309.
- Lave, J. & Wenger, E. (1991). *Situated Learning Legitimate Peripheral Participation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Leontiev, A. (1983). *El desarrollo del psiquismo*. Madrid: Akal editores.
- Lozares, C. (2000). La actividad situada y/o el conocimiento socialmente distribuido. <http://www.bib.uab.es/pub/papers/02102862n62p97.pdf>.
- Luris, A. (1984). *Conciencia y lenguaje*. Madrid: Visor.
- Maldonado, Miguel Ángel (2003). *Las competencias, una opción de vida*. Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Martínez, Joaquín y otros (2005). *Desarrollo de competencias en ciencia e ingenierías. Hacia una enseñanza problematizada*. Bogotá: Cooperativa Editorial Magisterio.
- Porlan, R. (1993). *Constructivismo y escuela. Hacia un modelo de enseñanza-aprendizaje*.
- Rogoff, B. (1993). *Aprendices del pensamiento*. Barcelona: Paidós.
- Rogoff, B. (2003). *La naturaleza cultural del desarrollo humano*. Nueva York: Universidad de Oxford.
- Rogoff, B.; Goodman Turkianis, C. & Bartlett, L. (2001). *El aprender junto: niños y adultos en una comunidad de la escuela*. Nueva York: Universidad de Oxford.
- Streibel, M. (1989). Diseño instructivo y aprendizaje situado: ¿es posible un maridaje? *Revista de Educación*, 289, 215-234.
- Tobón, Sergio (2004). *Formación basada en competencias*. Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Vigotsky, L.S. (1985). *Pensamiento y lenguaje*. Buenos Aires: Pléyade.
- Wenger, E. (2001). *Comunidades de práctica*. Barcelona: Paidós.
- Wertsch, J. (1988). *Vigotsky y la formación social de la mente*. Barcelona: Paidós.

## REFERENCIAS

1. Para los empiristas, la percepción es la fuente y prueba última del conocimiento, la experiencia es la única fuente del conocimiento, y las teorías se formulan a partir de la inferencia inductiva. Presume, por tanto, que la mente humana es una tabula rasa en la que se escribe la experiencia. El inductivismo parte de la objetividad de la observación y del razonamiento. La ciencia parte, por consiguiente, de enunciados observacionales, eludiendo la teoría que precede y determina a la observación. El contraste entre el inductivismo y el constructivismo es evidente, en tanto para éste la ciencia empieza con teorías que preceden a los enunciados observacionales. Conocemos sobre un conocimiento anterior, por lo cual los enunciados resultado de las observaciones están influidos por la teoría. En el *Novum organum* de Bacon para el empirismo, en el *Discurso del método* de Descartes y la *Crítica de la razón pura* de Kant para el racionalismo, se encuentran los principales referentes clásicos de estas escuelas de pensamiento. Para la ciencia positivista, la realidad educativa está constituida por hechos objetivos (ordenados *a priori*), independientes de la conciencia y de la experiencia racional de los actores; los hechos educativos se imponen de manera universal a las conductas que realizan los actores del proceso educativo.
2. Los libros de texto, recurso clave de los docentes de ingeniería, centran su contenido en la lógica de la ciencia sin conexión con las experiencias previas de los estudiantes, presentan los problemas como medio para que los estudiantes profundicen en los conceptos, intercalan ejercicios o problemas que sirven de modelización con todas las explicaciones que llevan a su solución, convirtiendo el problema en un modelo algorítmico y no en un proceso de búsqueda reflexiva.
3. El estudiante debe hacer las transferencias de lo aprendido a los escenarios específicos; sin embargo, él es incapaz de hacerlo, de cambiar el formato teórico aprendido, para adaptarlo a la realidad de su trabajo.

4. Se observa en los egresados, con algunas excepciones, un razonamiento precario hacia formas globales y plenas de afrontar situaciones; incapacidad de integrar la teoría con la práctica, o por lo menos de entender sus relaciones desde diferentes paradigmas; falta de iniciativa y hasta de motivación para conducir procesos de innovación. Sólo se aprecia en ellos el manejo de procesos institucionales adecuados a las normas y reglamentos, o a lo que se cree esperan sus jefes inmediatos.
5. "El aprender de diccionarios, como cualquier método que intente enseñar conceptos abstractos independientes de situaciones auténticas, pasa por alto la manera como la comprensión se desarrolla con el uso continuado y situado. Este desarrollo, que implica negociaciones sociales complejas, no se cristaliza en una definición categórica. Porque es dependiente de situaciones y negociaciones, el significado de una palabra no puede, en principio, ser captado por una definición, incluso cuando la definición es apoyada por un par de oraciones ejemplares. Todo el conocimiento es como la lengua, sus componentes son un producto de la actividad y las situaciones en las cuales se producen" (J. Brown; A. Collins & P. Duguid, 1989, pp. 33-42).
6. La propuesta de aprendizaje experiencial de Dewey en su obra *Experiencia y educación* (1938-1997) es un modelo instruccional que inspira el aprendizaje situado: "Toda auténtica educación se efectúa mediante la experiencia" (Dewey, 1938, 22). Una situación educativa es el resultado de la interacción entre las condiciones objetivas del medio social y las características internas del que aprende; se establece un fuerte vínculo entre el aula y la comunidad. Para Dewey, el aprendizaje experiencial es activo y genera cambios en la persona y en su entorno.
7. El aprendizaje se construye socialmente, con base en acuerdos entre los actores. Cada grupo de artesanos se entienden mejor con sus "pares", por cuanto intercambian mensajes al hablar de problemas por resolver; se da una práctica social continua de colaboración e interacción de los miembros de la comunidad, en la dimensión horizontal de igualdad; como consecuencia, intercambian estrategias de solución y se ayudan, desde diferentes perspectivas.
8. Vigotsky afirma que el sujeto humano actúa sobre la realidad transformándola y transformándose a sí mismo a través de unos instrumentos psicológicos que denomina "mediadores".
9. Barbara Rogoff, Ph.D. de la Universidad de Harvard, profesora de psicología de la Universidad Santa Cruz de California (UCSC) y de la Universidad de Utah. Construyó sobre la guía de Vigotsky, Leontiev, Bruner, Piaget, Cole, Whiting, Wertsch y Trevarthen. Obras: *La naturaleza cultural del desarrollo humano, Aprender junto: niños y adultos en una comunidad de la escuela*.
10. En la comunidad maya en Guatemala, los niños aprenden a menudo mediante la observación y la dirección guiada que los vincula a actividades de la comunidad. Las niñas mayas, por ejemplo, observan regularmente a las mujeres tejer (el tejer es una actividad diaria de la casa). Después, tejen al lado de su madre y están atentas a sus observaciones. Así mismo, para los niños aimaras bolivianos, el hogar, y luego la comunidad, son los espacios de sus primeros aprendizajes. Es en estos contextos donde el niño aimara adquiere las nociones informalmente, gradualmente y en forma práctica. Las personas mayores de su entorno son las que propician las situaciones de aprendizaje. En esta interacción con los adultos y con el entorno natural, los mismos niños construyen sus propios aprendizajes y conocimientos de su cultura.
11. Los niños empiezan a desempeñar roles maduros cuando comparten actividades económicas con los adultos de su familia: niños hindúes aprenden observando el trabajo de sus madres en el campo o el trabajo a destajo fuera del hogar.
12. Niños en algunas partes de África utilizan con seguridad y habilidad los machetes, después de observar a sus padres.
13. Las madres de las islas Marquesas tienen dificultad de interactuar con sus bebés cara a cara.
14. Los principios teóricos sobre el aprendizaje en comunidad están basados en observaciones hechas en aulas de clase en una escuela primaria pública. Se realizan prácticas educativas que buscan tender puentes entre el hogar y la escuela. Participan padres (los padres pasan tres horas por semana en actividades educacionales en el salón de clase), profesores y estudiantes. Los niños aprenden contribuyendo a la planeación de actividades, a la construcción del plan de estudios y vinculándose responsablemente con otros. Toda la comunidad aprende cómo es el proceso de aprendizaje en sus miembros y cómo se toman decisiones (los profesores y padres aprenden de su implicación con los niños).
15. La participación guiada tiene lugar en todas las culturas. Esto es así porque todas las culturas comparten la necesidad de incorporar a los nuevos miembros a la propia vida cultural. Así pues, la participación guiada es un fenómeno cultural que se da también, y quizá sobre todo, de forma implícita; no sólo de forma presencial por parte del adulto o miembro más capaz, sino también por medio de la estructuración del ambiente y los objetos.
16. Antropóloga de la Universidad de Berkeley, cuya principal interés es la teoría social; publicó varias obras, entre ellas *Cognición en la práctica* (1988).
17. Etienne Wenger es Ph.D. en inteligencia artificial de la Universidad de California (Irvine).
18. Parteras mayas de Yucatán: niñas hijas de parteras aprenden oficios curativos y rituales usando remedios herbarios, masajes, procedimientos rituales y técnicas de respiración. Para ello, observan a su mamá, oyen historias y cumplen algunas diligencias en el proceso. Este procedimiento no implica la enseñanza formal.
19. Sastres de Vai y de Gola (comunidad del oeste de África): Un pariente cercano sastre, enseña a aprendices recién llegados por tareas subdivididas en subcategorías, involucrándolos en la producción de vestidos, en su taller: en la distinción de la tela, adición de botones (uso de la aguja y del enhebrado del hilo), en la costura a mano y en el corte del paño (uso de la tijera), y del prensado del paño. Con esto se reducen al mínimo las pérdidas por errores de los aprendices. El aprendiz inicialmente aprende observando y después repitiendo el trabajo de su maestro.
20. Intendentes: Para alcanzar un dominio de la alta tecnología que tiene la marina de guerra: ensamblaje de naves, uso de radioteléfonos, mapas, etc. El proceso de aprendizaje de los nuevos intendentes empieza con funciones y tareas periféricas (colaborándoles a los expertos); después, cuando han ganado más experiencia (un año), se trasladan a funciones y tareas más importantes.
21. Carniceros: al aprendiz lo entrenan en la comercialización de la carne y en el trabajo, en el uso de las herramientas de corte, en las posiciones que debe tener el plástico en las máquinas para envolver, etc.
22. Alcohólicos que no beben: se vinculan a un grupo, asisten a las reuniones y superan el problema en un frente común, observando y escuchando las experiencias de otras personas.

23. En las comunidades de práctica se aprende por una participación periférica que legitima la práctica misma del aprendizaje en comunidad (Lave y Wenger, 1991).
24. Nació en Estados Unidos, estudió psicología en la Universidad de California y se doctoró en la Universidad de Indiana (1962); viajó a Moscú en 1962, en un intercambio universitario, y comenzó a estudiar la psicología cognitiva de los grandes teóricos rusos del siglo XX, en especial Vigotsky y Luria. Inició su actividad docente en la Universidad de Yale y entre 1969 y 1978 fue profesor de la Rockefeller University y, posteriormente, de la Universidad de California, actualmente es profesor de comunicación y psicología del departamento de comunicación de la Universidad de California en San Diego. En 1981 escribió con Sylvia Scribner *The psychology of literacy* (Cambridge: Harvard University Press).
25. Después de una formación rigurosa y especializada en la enseñanza de las matemáticas, Cole va a trabajar a Liberia; ahí encuentra que los niños uzbekos (e incluso los adultos) eran incapaces de resolver problemas aparentemente triviales en tareas experimentales (por ejemplo, armar un rompecabezas, clasificar figuras, etc.) mientras que podían dar muestras de capacidades intelectuales sorprendentes en actividades de su vida cotidiana (Cole, 1983).
26. Las ideas de Vigotsky tienen amplia influencia en áreas como la educación, la educación especial y la evaluación.
27. A.S. Leontiev orientó sus estudios hacia la teoría de la actividad: "... la actividad individual humana no existe sin el sistema de relaciones sociales" (Leontiev. En Wertsch, 1988, p. 219).
28. Los trabajos de Alexander Luria se han referido a la neuropsicología.
29. Noam Chomsky, en 1965, fue el primero en plantear el concepto moderno de competencia.
30. Icfes (1999). Nuevo examen de estado para el ingreso a la educación superior. Bogotá.
31. Maldonado, Miguel Ángel (2003). *Las competencias, una opción de vida*. Bogotá: Ecoe, Ediciones.
32. La competencia laboral es la aplicación de conocimientos, habilidades, comprensiones y valores a la realización de funciones productivas dentro de un área ocupacional, alcanzando en contextos cambiantes los niveles de desempeño esperados en el trabajo. O, de otra forma, la competencia laboral es la capacidad que tiene una persona para aplicar conocimientos, habilidades y destrezas, valores y comportamientos, en el desempeño laboral, en diferentes contextos.
33. Tobón, Sergio (2004). *Formación basada en competencias*. Bogotá: Ecoe Ediciones.
34. Ley General de la Educación (Ley 115 de 1994).
35. En la actualidad, el Sena ofrece los servicios de formación, evaluación y certificación laboral con base en estándares de desempeño o unidades de competencia, establecidos por consenso entre los sectores productivo, educativo y gubernamental, con la metodología de las mesas sectoriales de trabajo.
36. Para el caso de la ingeniería, se hace referencia al Decreto 2566 de 2003 y a la Resolución 2773 de 2003 del Ministerio de Educación Nacional.
37. La Junta de Acreditación de Ingeniería y Tecnología (Accreditation Board for Engineering and Technology, Abet) es una organización que acredita programas de ciencias aplicadas, computación, ingeniería y tecnología en Estados Unidos. Es una de las organizaciones de acreditación más respetadas en el mundo, pues tiene una tradición de más de 70 años y está organizada como una federación de 30 asociaciones profesionales y tecnológicas.
38. Abet (2005). [www.abet.org](http://www.abet.org).
39. La resolución de problemas ofrece una oportunidad importante para generar conflictos cognitivos. Aunque la resolución satisfactoria del conflicto no garantiza llegar a la solución, sí ofrece un estímulo fundamental para la búsqueda de conocimientos y estrategias aprendidas y organizadas. Los problemas ofrecen, en este sentido, una oportunidad para ampliar zonas de desarrollo próximo por medio de la interacción mediada por el profesor y entre alumnos que resuelven problemas.
40. Se refiere a estar "orientado" en el campo de estudio, con conocimiento de cómo enfrentarse metodológica y actitudinalmente a situaciones problemáticas abiertas.
41. Con capacidad de decidir lo que saben y lo que no saben. Diversos autores (Lacasa y Herranz, 1995; Rogoff, 1993; Newman, Griffin y Cole, 1991; etc.) han señalado la relación entre los procesos de resolución de problemas, la formación de conceptos científicos y el desarrollo de la capacidad de autorregulación de los propios procesos de aprendizaje, capacitación vinculada al concepto de aprender a aprender. El estudiante aprende a aprender cuando es capaz de controlar el proceso de aprendizaje y ello implica una reflexión sobre sus propios procesos y contenidos de conocimiento. Según Schmidt, la propia dinámica interna de esta estrategia fomenta el aprendizaje autorregulado (Schmidt, 1995).

# Métodos de apoyo para una gestión ambiental en las organizaciones.

## Una perspectiva general

Artículo recibido: 9/06/2008  
Evaluación par interno: 15/10/2008  
Aprobado: 17/10/2008

JAIRO RAÚL CHACÓN VARGAS

CM.Sc. Docente del Programa de Ingeniería Industrial de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

### Resumen

En este artículo se explican de manera sucinta los principales métodos existentes para apoyar a las organizaciones en el proceso de toma de decisiones ambientales, destacando aspectos claves de cada uno de ellos. Se presenta el concepto societal denominado desarrollo sostenible, que sirve de contexto para justificar la necesidad de diseñar y aplicar los instrumentos de gestión ambiental.

Posteriormente se describen las estrategias ambientales para alcanzar el desarrollo sostenible. Se explican luego los métodos de información ambiental, conocidos también como herramientas o instrumentos de gestión ambiental, que ayudan a las empresas e instituciones públicas a traducir dichas estrategias en acciones concretas, dividiéndolos en dos categorías: métodos analíticos y métodos procedimentales.

**Palabras claves:** gestión ambiental, toma de decisiones, desarrollo sostenible, herramientas ambientales, producción más limpia, medio ambiente, información ambiental.

### Abstract

This paper briefly explains the main existing methods supporting the environmental decision process making of the organizations, standing out the key aspects of those methods. The societal concept named sustainable development is introduced, this context is required to design and apply environmental tools. Afterwards, the environmental strategies to achieve sustainable development are described. Finally, the environmental methods that transfer these strategies into specific actions are discussed, dividing them into two classes, one called analytical methods and the other one called procedural methods.

### INTRODUCCIÓN

Las empresas hoy en día en el escenario de una economía global enfrentan importantes retos, tales como la preocupación creciente del público por los efectos de las sustancias químicas sobre la salud, la seguridad y el ambiente, la responsabilidad social de los negocios, el desarrollo sostenible, la participación y veeduría cada vez mayor de la ciudadanía, la escasez de materias primas y de recursos energéticos, una población global en aumento, lo cual ha llevado al desarrollo de enfoques más sistemáticos y la demanda de información, por ejemplo de tipo ambiental, para administrar en las organizaciones todos los esfuerzos necesarios para afrontar con éxito estos desafíos y contribuir así a la prosperidad mundial.

Como una respuesta a lo anterior, se reconoce la importancia de la búsqueda de innovación y de formas costo-efectivas que faciliten a las partes interesadas<sup>1</sup> el desarrollo y uso de un amplio espectro de herramientas de gestión ambiental. Tales instrumentos los pueden emplear las empresas para una mejor gestión ambiental de sus operaciones y productos, y también las autoridades como instrumentos de política para promover una mejora en el desempeño ambiental de la industria.



En el presente artículo se propone ofrecer una perspectiva general de los principales métodos hasta ahora disponibles, describiéndolos brevemente y destacando las principales diferencias y similitudes entre ellos y los criterios para su selección.

Ahora bien, las herramientas de gestión ambiental tienen sus limitaciones, falta por perfeccionar algunas, desarrollar otras, muchas de ellas no han podido hacerse compatibles, lo que abre la posibilidad, según el profesor Gutowsky del Massachusetts Institute of Technology (MIT) (Gutowsky, 2003), de que se conviertan en un problema de investigación más que en una disciplina, lo que llevaría a que se sigan presentando las discusiones, la revisión crítica y el pensamiento creativo alrededor de estos temas.

No obstante las anteriores deficiencias, se cree que este tipo de métodos son una valiosa ayuda para que en la sociedad, en particular gobiernos y empresarios, pueda haber un lenguaje común y de mutua cooperación para contribuir al logro del desarrollo sostenible<sup>2</sup>.

#### Principios básicos de gestión ambiental

Antes de comenzar a describir los métodos de información ambiental, es necesario ofrecer al lector una explicación breve del contexto ambiental que sirve para justificar el diseño, desarrollo y aplicación de tales métodos.

La opción de desarrollo conocida como desarrollo sostenible tuvo su principal punto de partida durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo que se llevó a cabo en Río de Janeiro en 1992. El propósito central de esta reunión partía del hecho de que la protección del medio ambiente y el desarrollo de los pueblos son dos aspectos que no están separados, sino que por el contrario mantienen una interdependencia importante; a consecuencia de este planteamiento, los representantes al más alto nivel de 179 países acordaron en consenso el modelo de desarrollo sostenible, lo que derivó en la firma de los principios y las acciones que se deberían tener en cuenta para lograr esta nueva opción de desarrollo.

Así surgió lo que se conoce como la Declaración de Río, que es un conjunto de 27 principios que se constituyen en la “constitución” del desarrollo sostenible, que no son más que una serie de directrices de política ambiental global.

En el segundo documento, denominado Agenda 21, se incorporan las acciones concretas que deberían implementar los países de manera solidaria y global para proteger el medio ambiente y el desarrollo de los pueblos. Es un documento de 40 capítulos que contempla un plan de acción para el desarrollo desde tres dimensiones: la económica, la ambiental y la social (figura 1). La económica, entendida como la necesidad de un crecimiento económico para garantizar el bienestar material de las personas; la ambiental, indispensable para minimizar los daños ambientales, la contaminación y la disminución de recursos, y por último, la dimensión social, entendida como la distribución equitativa entre ricos y pobres de los recursos del planeta. La sostenibilidad busca, entonces, que las actividades humanas que se desarrollen alcancen un equilibrio entre estas tres dimensiones.



Figura 1. Los tres elementos del desarrollo sostenible.

Es en el contexto del desarrollo sostenible donde las actividades empresariales, gubernamentales y de consumidores, principalmente, presionan por un cambio de paradigma, sobre todo en sus actitudes y formas de pensar, que obligue a innovar en productos y servicios, como consecuencia del cambio que viene presentándose en los patrones de consumo actuales y que necesariamente se reflejará en modificaciones en los patrones de producción y en las políticas gubernamentales.

Ahora bien, específicamente la actividad industrial en general ya ha venido entendiendo poco a poco la necesidad de cambiar su forma de trabajar no sólo por razones de sostenibilidad sino para permanecer y ser más competitivos en los mercados locales, en especial en los de carácter global, lo cual ha implicado

la obligación de integrar información ambiental que contemple aspectos económicos, sociales y tecnológicos en sus procesos de toma de decisiones lo que a su vez ha impulsado el desarrollo de herramientas de información ambiental, como las que se describirán a continuación.

#### Métodos de selección de información ambiental

La revisión bibliográfica indica que existen estudios teóricos y experiencias prácticas sobre numerosos y variados conceptos y métodos de información ambiental<sup>3</sup> (Assefa, 2005; Aloisi de Larderel, 1998; Moberg, 1999; Wrisberg, 2002; Förster & Reusser, 1999; Bras, 1997; Dróll, 1998; Sullana & Puig, 1997; Verghese & Hes, 2007; Glavic & Lukman, 2007; Udo de Haes et al., 2000; Fatta & Moll, 2003). Algunos coinciden en la explicación de los métodos más comunes, otros tratan métodos poco conocidos, pero la clasificación de los métodos difiere entre un autor y otro.

La selección de los métodos que se explican en este artículo se ha basado en consideraciones subjetivas y en el análisis de las herramientas que en la actualidad más se usan, aquellas que están en evolución y otras que quizás no son muy comunes pero que permiten tener un espectro relativamente amplio de los instrumentos con que se cuenta hoy en día para la toma de decisiones ambientales, sin pretender tampoco mostrar que existen unas herramientas más importantes que otras.

#### Descripción

El punto de partida que se decidió escoger y ampliar posteriormente para explicar la clasificación y descripción de los métodos de información ambiental para la toma de decisiones en las organizaciones es el desarrollado en el proyecto Chainet, que se llevó a cabo en Europa durante los años de 1997 a 1999. Éste tenía como fin estudiar la adopción en las empresas de un conjunto de herramientas para el intercambio de información ambiental entre los actores de la cadena de valor involucrados o interesados en el diseño y desarrollo de productos (automóviles, bienes electrónicos de consumo y limpieza doméstica de prendas de vestir), en otras palabras, utilizar herramientas para una gestión del ciclo de vida<sup>4</sup> (Wrisberg & Udo de Haes, 2002).

Existen desde luego otros tipos de clasificación para las herramientas de gestión ambiental que pueden servir de base para una discusión y análisis posterior (Bart van Hoof et al., 2008; Assefa, 2005; Ramos, 2000; Udo de Haes et al., 2000; Glavic et al., 2007<sup>5</sup>).

A continuación se ilustra el marco de referencia para la explicación de los conceptos e instrumentos o métodos de información ambiental (figura 2).

#### Conceptos

Muchos de estos conceptos surgieron principalmente hacia finales de la década de los ochenta.

Los conceptos se constituyen en ideas orientadoras o en la estrategia para alcanzar el desarrollo sostenible<sup>6</sup>, y sirven para tener un enfoque amplio de punto de referencia para que las organizaciones puedan tratar sus asuntos ambientales. Cada uno de estos conceptos se ha originado en un campo del conocimiento específico, lo cual se traduce en que entre ellos puedan existir algunas diferencias que en términos generales son menores.

Vale la pena destacar los siguientes:

- Pensamiento de Ciclo de Vida (PCV).
- Gestión del Ciclo de Vida (GCV).
- Tecnología más Limpia (TML).
- Desmaterialización (DM).
- Ecoeficiencia (E<sup>2</sup>).
- Ecología Industrial/Metabolismo Industrial (EI/MI).
- Cero Emisiones (CE).
- Productividad Verde (PV).
- Prevención de la Contaminación (PC).
- Química Verde (QV).
- Producción más Limpia (PLIM).
- Manufactura Ambientalmente Benigna (MAB).
- Ingeniería Ecológica (IE).
- Factor X, Factor 4 y Factor 10.
- Prevención y Control Integral de la Contaminación (PCIC).
- Producción Sostenible (PS).
- Reducción en la Fuente (RF).
- Minimización de residuos (MR).
- Economía Circular (ECIR).

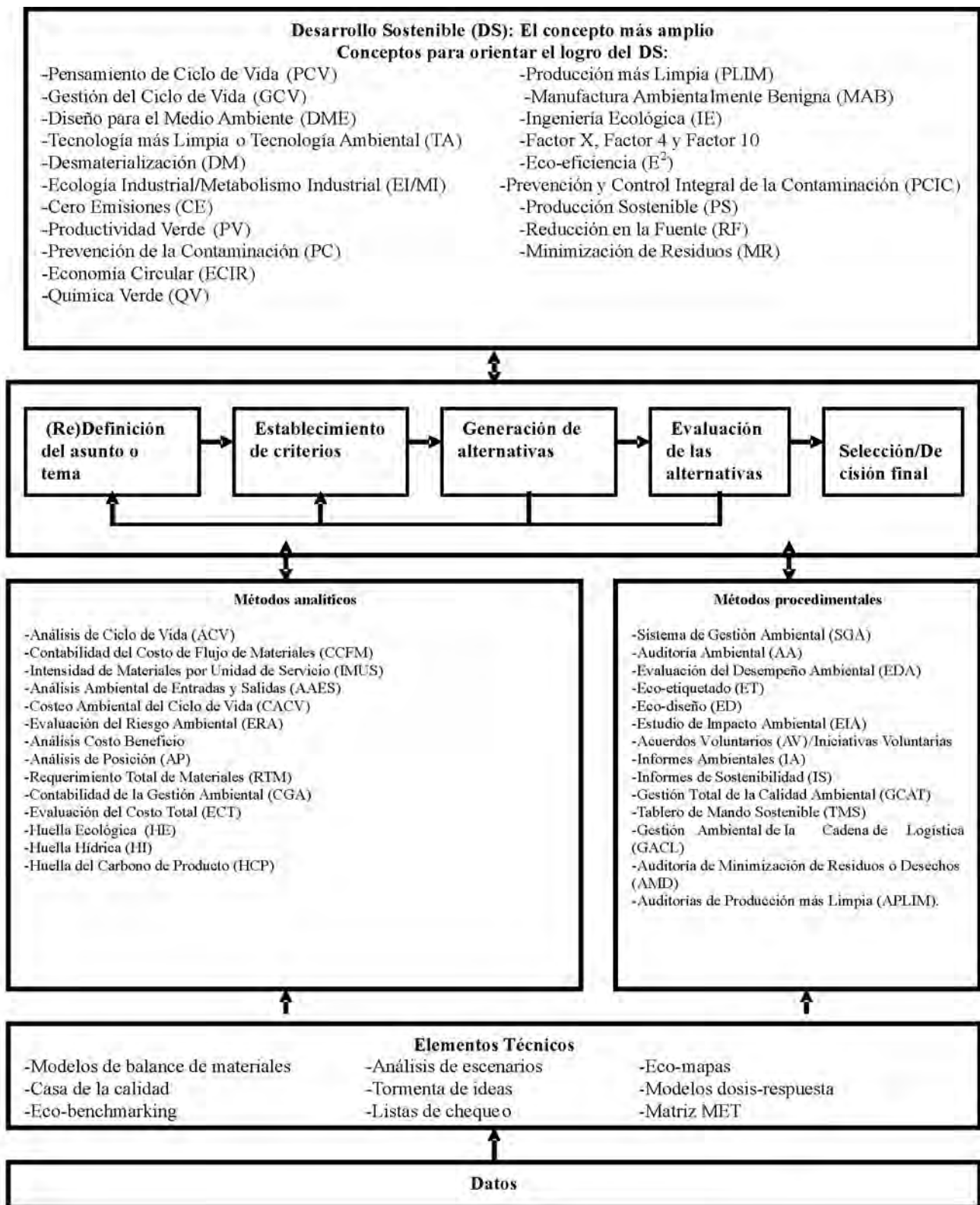


Figura 2. Marco de referencia conceptual sobre los métodos para la gestión ambiental (modificado por el autor de *Analytical tools for environmental design and management in a systems perspective*. Wrisberg et al.).

A continuación se describen en forma breve estos conceptos, haciendo la salvedad de que no siempre existe una definición que se acepte generalmente.

### Pensamiento de Ciclo de Vida (PCV)

Expresa que independientemente de la actividad que lleven a cabo los diferentes actores económicos de una sociedad, sus responsabilidades no se limitan de manera exclusiva a aquellas etapas del ciclo de vida del producto, proceso o actividad en las cuales directamente participan, sino que sus responsabilidades van más allá para incorporar las implicaciones ambientales que se puedan dar en todo el ciclo de vida del producto o servicio.

El ciclo de vida del producto o servicio<sup>7</sup> (figura 3) referido aquí tiene que ver con la extracción y suministro de insumos y materiales que se necesitan para producirlo, el transporte de estos materiales, la fabricación misma del producto/servicio, el empaque y transporte del producto hacia los clientes, y los desechos sólidos, líquidos o gaseosos que se emiten al medio ambiente durante su uso y disposición.

Así, un empresario que fabrica, por ejemplo, productos para la protección de cultivos (dentro de esta

denominación se tienen los plaguicidas, herbicidas, fertilizantes, fungicidas, etc.), no sólo es responsable de los impactos ambientales que se deriven de su proceso de producción sino que también está en la obligación de contribuir a que se haga una gestión ambiental responsable de los residuos de empaques que se generan una vez que el consumidor final<sup>8</sup> ha aplicado el producto.

### Gestión del Ciclo de Vida (GCV)

Esta gestión tiene como marco de referencia el pensamiento de ciclo de vida e incorpora los elementos de la figura 3, de modo que se pueda contemplar integralmente el desempeño ambiental, económico y social del producto o servicio. Además permite informar a las partes Interesadas cuál fue el proceso para la toma de decisiones asociadas al diseño y desarrollo de un bien o servicio, de manera que éste impacte lo menos posible al medio ambiente o sobre los aspectos que se han tenido en cuenta para la compra ecológica de sus materiales y productos, o para incentivar un cambio en los patrones de consumo de sus bienes y servicios por patrones más sostenibles.

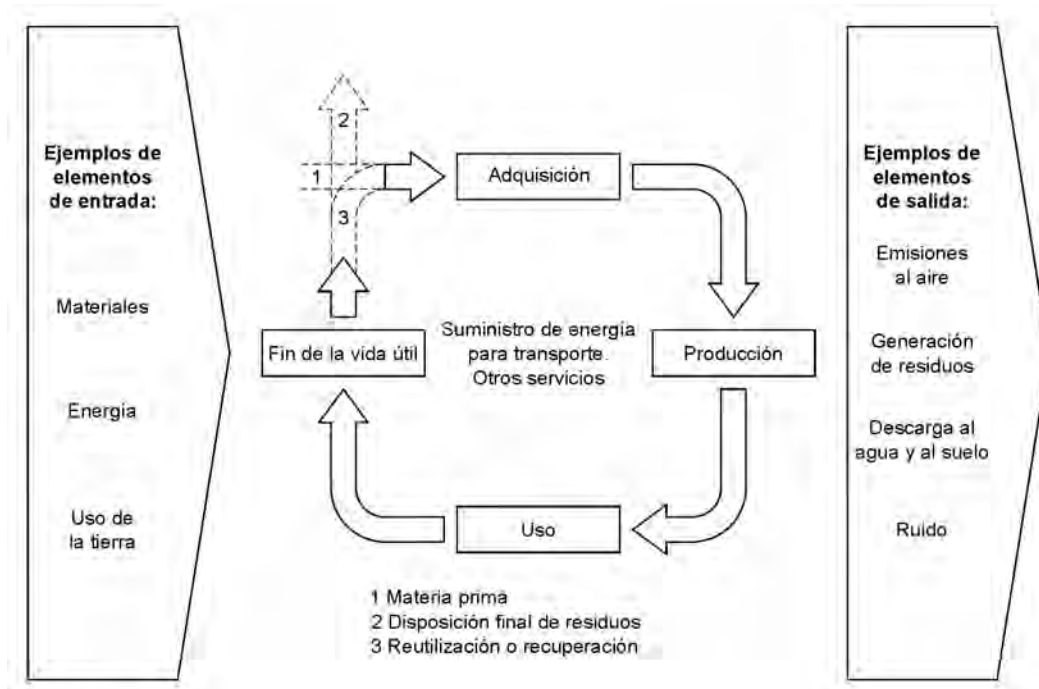


Figura 3. Enfoque de ciclo de vida<sup>9</sup> (tomado de *Guía para tratar temas ambientales en normas de producto. Proyecto de norma internacional. Icontec*).

### Tecnología Ambiental (TA)/Tecnología más Limpia (TML)

Se refiere al conocimiento sistemático de tecnologías de procesos de producción para hacer un uso eficiente de los recursos naturales y energía, al tiempo que se reducen/reciclan los residuos para controlar/minimizar los riesgos de las sustancias químicas y disminuir la contaminación (Glavic & Lukman, 2007).

### Desmaterialización (DM), factor X, factor 4 y factor 10<sup>10</sup>

La desmaterialización es la disminución sustancial de la producción total de materiales y energía en una sociedad. Se puede medir en diferentes escalas geográficas, como naciones, regiones y ciudades, pero también dentro de diversos sectores de la industria, hogares y productos (Van Oers et al., 2002). Se habla de dos clases de desmaterialización: una denominada desmaterialización absoluta (fuerte), cuando la cantidad total de materiales o energía producidos en una sociedad está disminuyendo, y la desmaterialización relativa (débil), que corresponde a la reducción del volumen de materiales o energía producidos por unidad per cápita.

El concepto de factor X es otro sinónimo para el concepto de desmaterialización. Consiste en una forma directa de utilizar métricas en varias actividades que pueden reducir el volumen de recursos y energía en un proceso dado. Este concepto hace énfasis en la eficiencia de la economía en la utilización de los recursos naturales.

El factor 10 busca a largo plazo una desmaterialización del 90% de la totalidad del flujo de materiales y energía en una economía. Así por ejemplo, si actualmente para producir una rentabilidad de US\$100 se requieren 250 kg de materiales, en los próximos años se debería ser capaz de producir esa misma rentabilidad pero con tan sólo 25 kg de materiales del sistema natural.

A mediano plazo conviene considerar un factor 4, que puede lograrse si de manera generalizada las empresas y gobiernos trabajan mancomunadamente para usar las mejores tecnologías ya existentes en el mercado.

### Ecoeficiencia (E<sup>2</sup>)

Este término lo introdujo el Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible hacia la década de

los noventa y establece que “es el proceso continuo de maximizar la productividad de los recursos, minimizando desechos y emisiones y generando valor para las empresas, sus clientes, sus accionistas y demás partes interesadas” (Cecodes)<sup>11</sup>.

Es un concepto que hace hincapié en la eficiencia económica y ecológica de las empresas, es decir, fabricar más con menos. Cuando las empresas emprenden proyectos y programas de ecoeficiencia, los resultados que obtienen es un empleo más racional de sus materias primas e insumos y servicios que necesariamente se traduce en una reducción de sus costos de producción y, en consecuencia, en mayores ganancias.

Finalmente, la ISO tiene intención de elaborar un estándar internacional para la evaluación de la ecoeficiencia<sup>12</sup> en el seno del subcomité 5 (Evaluación del ciclo de vida) perteneciente al Comité Técnico 207 de la ISO<sup>13</sup>.

### Ecología Industrial/Metabolismo Industrial (EI/MI)

La ecología industrial<sup>14</sup> es un nuevo enfoque para el diseño industrial de productos y procesos, y la aplicación de estrategias de manufactura sostenible. Es un concepto en el cual un sistema industrial no es visto aisladamente de los sistemas que lo rodean sino en concierto con éstos. La ecología industrial busca optimizar el ciclo total de los materiales desde las materiales vírgenes, pasando por el material transformado, los componentes del producto, los residuos del producto y, en últimas, la disposición final (Garner, 1995).

Este concepto surge del estudio de la ecología, pues se dice que el ideal sería que los ecosistemas industriales funcionaran como los sistemas biológicos, por lo que los desechos generados por una empresa deberían serle útiles a otra; así no habría manera de que el residuo saliera del sistema industrial o impactara de manera adversa el medio ambiente.

El metabolismo industrial es, por así decirlo, un brazo armado de la ecología industrial. Comprende el estudio de los flujos de energía y materiales en los sistemas industriales y de los residuos que allí se originan, para así identificar productos y procesos ineficientes que generan desechos y contaminación y las medidas para disminuirlos.

### Cero Emisiones (CE)

El concepto de cero emisiones es promovido en el mundo por el economista sueco Gunter Pauli, a través de lo que se conoce como la Iniciativa Zeri (*Zero Emissions Research Initiative*), es muy parecido al concepto de ecología industrial.

Este concepto promueve convertir y emplear las salidas de un proceso como entradas en otros procesos.

### Productividad Verde (PV)

Este concepto surge en los países de Asia y establece que la productividad verde es “una estrategia para que simultáneamente se mejoren la productividad y el desempeño ambiental para el desarrollo global económico y social que lleve a una mejora sostenida de la calidad de vida de las personas. Es la aplicación combinada de herramientas de gestión, en lo ambiental y lo productivo, de técnicas y tecnologías que reduzcan el impacto ambiental de las actividades, productos y servicios de las organizaciones, al tiempo que se aumentan la rentabilidad y la ventaja competitiva” (APO, Asian Productivity Organization).

En resumen, es una estrategia dinámica que propende a que vayan de la mano el crecimiento económico y la protección del medio ambiente para alcanzar el desarrollo sostenible.

### Prevención de la Contaminación (PC) y Reducción en la Fuente (RF)<sup>15</sup>

Este concepto surge en Estados Unidos (y es allí donde se utiliza), específicamente en la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (Usepa, United States Environmental Protection Agency). He aquí la definición de la agencia:

“Prevención de la contaminación significa ‘reducción en la fuente’, tal como se define en el Acta de Prevención de la Contaminación, y la aplicación de otras prácticas que disminuyan o eliminen la creación de contaminantes a través de:

- Aumentar la eficiencia en el uso de las materias primas, energía, agua u otros recursos.
- Proteger los recursos naturales mediante su conservación.

La reducción en la fuente significa cualquier práctica que:

- Disminuya la cantidad de cualquier sustancia peligrosa o contaminante que entre a cualquier corriente de residuos o se libere al medio ambiente (incluyendo las emisiones fugitivas) antes del reciclaje, tratamiento o disposición final.
- Reduzca los peligros a la salud pública y el ambiente, asociados con la liberación de tales sustancias o contaminantes.

El término incluye modificaciones a los equipos y la tecnología, a los procesos y procedimientos, la reformulación o rediseño de los productos, la sustitución de materias primas y las mejoras de las prácticas administrativas, el mantenimiento, entrenamiento o control de inventarios” (Usepa).

Es importante señalar que en la legislación ambiental de Estados Unidos el reciclaje externo, la recuperación de energía, el tratamiento o control ambiental y la disposición final no están incluidos dentro de la definición de prevención de la contaminación. El reciclaje externo, por ejemplo, sí puede catalogarse como prevención de la contaminación, siempre y cuando se lleven a cabo de una manera ambientalmente responsable, toda vez que trae ventajas al disminuir la necesidad del tratamiento o la disposición y conservación de la energía y los recursos.

### Producción más Limpia (PLIM)

Este concepto lo propuso la Unep en París en 1989. Desde ese entonces el concepto ha venido ampliándose, para tener una orientación más marcada hacia el desarrollo sostenible. Así, en el 2004 se incorporó la dimensión económica (se incluyó el tema de la ecoeficiencia):

“La Producción más Limpia significa la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integral en los procesos, productos y servicios para aumentar la ecoeficiencia y reducir los riesgos a los humanos y el medio ambiente” (Unep, Division of Technology, Industry and Economics).

Así mismo, enfatiza en la importancia de reducir el empleo de recursos y evitar la generación de desechos, más que pensar qué hacer con la contaminación después

**Tabla 1**  
Definición de Producción más Limpia de la Unep

Elementos del proceso	Aplicaciones	Resultados
Aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integral		
	En los productos, procesos y servicios	Para aumentar la eco-eficiencia y reducir los riesgos para los seres humanos y el medio ambiente
	En los procesos de producción	Conservando las materias primas y energía, eliminando los materiales tóxicos, disminuyendo la cantidad y toxicidad de todas las emisiones y residuos antes de que salgan del proceso
	En productos	Reduciendo los impactos negativos a lo largo del ciclo de vida del producto Incorporando los asuntos ambientales
	En servicios	Incorporando los asuntos ambientales en el diseño y entrega de los servicios
La Producción más Limpia requiere un cambio en las actitudes, aplicación de conocimientos y mejora de la tecnología		

Tomado y adaptado de Cleaner Production Perspectives 1: CP and Industrial Development. René van Berkel.

de que esta se ha creado. No es más que una estrategia que exige el rediseño de los productos, procesos y servicios para ayudar en el logro del desarrollo sostenible.

Los aspectos claves que hay que resaltar de la anterior definición se pueden ver en la tabla 1.

#### Manufactura Ambientalmente Benigna (MAB)

Este concepto lo ha desarrollado un grupo de investigación adscrito al Laboratorio para la Manufactura y la Productividad del Departamento de Ingeniería Mecánica del Massachusetts Institute of Technology (MIT).

Este enfoque estudia específicamente los impactos ambientales derivados de la fabricación de bienes y servicios. Los campos de investigación que se contemplan principalmente son:

- Termodinámica.
- Economía.
- Análisis de ciclo de vida de los procesos y sistemas de producción y productos.
- Sistemas de reciclaje.
- Impactos ambientales asociados al consumo.

#### Química Verde (QV)

Es el empleo de la química para la prevención de la contaminación y la ecología industrial, y surgió sobre todo en Estados Unidos.

Es la práctica de las ciencias de la química y la producción dentro del marco de referencia de la ecología industrial de una manera que sea sostenible, segura y no contaminante, y que consuma cantidades mínimas de materiales y energía, al tiempo que se produce poco o ningún residuo (Manahan, 2007).

#### Producción Sostenible (PS)

Este concepto complementa la prevención de la contaminación y contempla la creación de bienes empleando procesos y sistemas que no sean contaminantes, que conserven la energía y los recursos naturales pero de una manera económicamente viable, segura y saludable para los empleados, comunidades y consumidores (Glavic & Lukman, 2007).

#### Minimización de Residuos (MR)

“Es la reducción, hasta donde sea factible, de los residuos peligrosos que son generados o posteriormente tratados o dispuestos. Incluye cualquier reducción en

la fuente o actividad de reciclaje que se lleve a cabo por un generador que resulte ya sea en una disminución del volumen total o de la cantidad de desechos peligrosos, o en la reducción de la toxicidad del residuo peligroso o ambas, siempre y cuando tales reducciones sean consistentes con la meta de minimizar las amenazas recientes o futuras para la salud de las personas y el medio ambiente” (Hamner, 1996).

### Economía Circular (ECIR)

En la literatura no se encuentra que este enfoque se haya considerado en el marco de referencia de la figura 2, sin embargo, de su estudio se desprende que es adecuado para considerarlo otro concepto más para ayudar en el logro del desarrollo sostenible.

El origen de la Economía Circular, tal como lo señalan algunos expertos chinos (Yuan et al., 2006), lo desarrollaron estudiantes chinos en el año de 1998 y tuvo su aceptación formal en el 2002 por el gobierno de China, que consideró que era un concepto que servía de estrategia para dilucidar esa aparente contradicción que se presentaba entre la necesidad de un rápido crecimiento económico y el uso racional de los materiales y la energía. Este es un concepto que surge de la Ecología Industrial.

Aunque para la Ecir todavía no existe una definición que todo el mundo acepte, la siguiente bien puede servir para aclarar su propósito:

“El tema central de la Ecir es el flujo circular (cerrado) de materiales y el uso de materias primas y energía a través de varias etapas. El principio de las “3R” –reducción, reutilización y reciclaje de materiales y energía– se citan con frecuencia para describir los tres enfoques posibles en la práctica” (Yuan et al., 2006).

La aplicación de este enfoque seguramente conlleva una mejor eficiencia económica de los recursos de China al tiempo que se emiten al medio ambiente menos contaminantes.

Esta estrategia hace necesario que se cambien casi de manera radical las formas de producción y de consumo de los habitantes de ese país.

### Observaciones finales sobre los conceptos

Al estudiar las definiciones antes planteadas para los conceptos descritos hasta ahora, y retomando y am-

pliando los planteamientos del profesor Hamner (Hamner, 1996) sobre definiciones de algunos conceptos ambientales, éstos podrían clasificarse en tres categorías:

1. Uno que se llamaría societal, porque las acciones van más allá de las operaciones y funciones de la empresa e incluye relaciones entre empresas, autoridades, comunidad académica, público en general y el medio ambiente en todas sus manifestaciones; éste sería el caso, por ejemplo, de la Ecología Industrial la Desmaterialización, la Economía Circular y Cero Emisiones.
2. Otro que se denominaría de cadena de valor, porque su alcance está focalizado en todos los aspectos de las operaciones de una empresa ligadas a la explotación de las materias primas que necesita en su proceso de producción, los proveedores de esas materias primas, la fabricación propiamente del bien o servicio, el uso del producto y la disposición final, la Producción más Limpia y la Productividad Verde cabrían dentro de esta categoría.
3. El último, que se llamaría de acción puntual, donde se abordan funciones específicas de las empresas, como la Manufactura Ambientalmente Benigna o el Diseño para el Medio Ambiente o la Química Verde.

Finalmente, como se dijo al comienzo, puede verse que existen otras similitudes y diferencias entre los conceptos, que en general no desvirtúan su propósito de ayudar en la consecución del desarrollo sostenible de una sociedad; a modo de ilustración, por ejemplo, la Producción más Limpia, la prevención de la contaminación, la ecoeficiencia, la Manufactura Ambientalmente Benigna están más centrados en el proceso de producción, mientras que la Minimización de Residuos busca optimizar más los procesos que cambiar las entradas a éstos. La Reducción en la Fuente, el Diseño para el Medio Ambiente y la Química Verde hacen énfasis en la disminución de los materiales tóxicos que van al proceso, que es una función más cercana al tema de compras de materias primas y diseño o rediseño de productos, mientras que la minimización de residuos es una función de producción.



### Métodos de información ambiental

Los conceptos descritos anteriormente que sirven para orientar la gestión ambiental de las organizaciones son como se dijo de carácter estratégico y podrían parecer en general algo vagos o abstractos, lo que podría dificultar su aplicación por parte, por ejemplo, de un empresario.

Para subsanar esta posible dificultad, es necesario hablar de los métodos de información ambiental que ayudan a convertir esos conceptos en acciones y a hacer más concretos los asuntos ambientales.

Estos métodos se dividen en dos categorías: una denominada métodos analíticos y la otra, métodos procedimentales. Es interesante anotar que ambas categorías podrían ser de interés para las instituciones gubernamentales y del Estado en general, para ayudarse en la consecución de sus políticas económicas, sociales, ambientales o de cualquier otro tipo; eso se haría a través de lo que se conoce como instrumentos de política.

Los métodos analíticos se caracterizan, en general, por los siguientes aspectos:

- La evaluación de los impactos ambientales, o el modelamiento del sistema o estudio del objeto de investigación suele hacerse de manera cuantitativa y con un trasfondo científico lo más sólido posible; requiere, en muchos casos, algoritmos computacionales para modelar el sistema objeto de estudio.
- El levantamiento de los datos suele demorarse un poco y son en general abundantes.
- Acostumbran requerir el apoyo de personal experto para su aplicación, por lo que en muchos casos su aplicación puede llegar a ser costosa.
- En la toma de decisiones puede emplearse un solo método o en combinación con otros métodos analíticos; por ejemplo, el Análisis de Ciclo de Vida puede utilizarse junto con el Costeo de Ciclo de Vida.

Los métodos procedimentales se caracterizan por los siguientes aspectos:

- La evaluación de los impactos ambientales, o el modelamiento del sistema o estudio del objeto de investigación puede hacerse de manera cualitativa y sin demasiado rigor científico.

- Son básicamente procedimientos de decisión. El corazón del método consiste en incorporar un conjunto de fases y procedimientos para ayudar a quienes empleen el método en la selección y aplicación de una decisión ambiental. Por ejemplo, los requisitos del sistema de gestión ambiental que contempla el estándar internacional ISO 14001:2004 o las auditorías de Producción más Limpia son un claro ejemplo de este tipo de métodos.
- El levantamiento de los datos no suele ser demorado ni demasiado costoso, y en muchos casos con un poco de esfuerzo podrían aplicarse por parte de una empresa sin la ayuda de expertos externos.
- Pueden emplearse en combinación o como apoyo a otros métodos procedimentales o analíticos. Por ejemplo, los sistemas de gestión ambiental ISO 14001 pueden apoyar la gestión de proyectos de eco-diseño, etiquetado ambiental o complementarse con esquemas como la evaluación del desempeño ambiental, los reportes ambientales o de sostenibilidad y estudios de análisis de ciclo de vida.

### Conjunto de métodos analíticos

Los principales métodos analíticos de información ambiental son los siguientes:

- Análisis de Ciclo de Vida (ACV).
- Costeo del Flujo de Materiales (CFM).
- Intensidad de Materiales por Unidad de Servicio (Imus).
- Huella Ecológica (HE).
- Huella del Carbono (HC).
- Huella Hídrica.
- Análisis Ambiental de Entradas y Salidas (Ames).
- Evaluación del Riesgo Ambiental (ERA).
- Ecodiseño (ED).
- Costo del Ciclo de Vida (CV).
- Evaluación del Costo Total (ECT).
- Análisis Costo Beneficio.

Acto seguido se explican brevemente estos métodos. El orden en que se presentan no presupone que uno u otro sea más importante.

### Método analítico 1: Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

El ACV tuvo sus comienzos a finales de la década de los sesenta y comienzos de los setenta. En esa época se hicieron varios estudios energéticos en los que se evaluaba la eficiencia de algunas alternativas de energía, a causa de la crisis petrolera del momento.

Un ejemplo de ello, que marcó el inicio del desarrollo de esta herramienta, fue el estudio desarrollado por Coca-Cola en 1969, donde se compararon diferentes tipos de envases para averiguar cuál era el de menor impacto ambiental. Pero realmente es en los años noventa donde toma impulso el diseño de marcos de trabajo y metodologías de ACV y que sentaron hoy en día la definición de unas metodologías estándar aceptadas internacionalmente.

El ACV es “la recopilación y evaluación de las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema producto a través de su ciclo de vida” (NTC-ISO 14040). El análisis, entonces, incluye la extracción de materias primas, producción, transporte, distribución, uso, reciclaje y disposición final.

El inventario no es más que la cuantificación de los recursos utilizados y las emisiones y residuos en todo el ciclo de vida del producto, proceso o actividad.

El análisis del impacto del ciclo de vida es una etapa en la que se evalúan los efectos ambientales de las entradas y salidas identificadas en la etapa del inventario.

La interpretación consiste en una evaluación sistemática de las necesidades y oportunidades para disminuir los impactos ambientales encontrados en todo el ciclo de vida.

En la figura 4 se ilustran las etapas de un ACV.

Fullana et al. señalan algunas aplicaciones en las empresas del ACV que vale la pena destacar:

- Analizar el producto de la empresa.
- Aprender sobre ACV.
- Desarrollar nuevos productos.
- Implementar una etiqueta ambiental de sus productos.
- Mejorar y optimizar sus procesos.
- Escoger entre proveedores y materias primas.
- Analizar líneas de negocios.
- Hacer una comparación interna.
- Cumplir exigencias de las autoridades o clientes.

Por último, se ilustra la serie de normas ISO 14000 que tratan el marco de referencia aceptado internacionalmente y ejemplos sobre ACV (tabla 2).

**Tabla 2**  
Normas ISO 14000 sobre ACV<sup>16</sup>

<b>ISO 14040:2006.</b> Principios y marco de referencia. Esta norma establece los principios y marco de referencia para llevar a cabo un ACV, y describe las fases claves del proceso de ACV. Se recomienda que se emplee junto con ISO 14044.
<b>ISO 14044:2006.</b> Requisitos y lineamientos. Esta norma establece los requisitos y orientaciones para llevar a cabo un ACV. Se recomienda utilizarla junto con ISO 14040.
<b>ISO/TR 14047:2003.</b> Ejemplos de aplicación de ISO 14042. Ofrece ejemplos del empleo del ACV. ISO 14042 se eliminó en el 2006, su contenido se incorporó en las versiones de ISO 14040 e ISO 14044.
<b>ISO/TS 14048:2002.</b> Formato para la documentación de datos. Ilustra los formatos para la recolección de información, con énfasis en la fase del inventario de ciclo de vida (recopilación de las entradas y salidas de los procesos).
<b>ISO/TR 14049:2000.</b> Ejemplos de aplicación de ISO 14041 para la definición del objetivo, alcance y análisis del inventario. ISO 14041 se eliminó en el 2006, su contenido se incluyó en las versiones del 2006 de ISO 14040 e ISO 14044.

### Método analítico 2: Contabilidad del Costo de Flujo de Materiales (CCFM)

Este es un método que permite a las empresas vincular sus asuntos ambientales a los costos<sup>17</sup>.

Es una herramienta que forma parte importante de la contabilidad para la gestión ambiental.

En términos generales, conlleva el cálculo del flujo de materiales y residuos (en unidades físicas) a través del proceso de producción y los costos de tales flujos (en unidades monetarias). Esta información hace que se descubran costos ocultos y otras ineficiencias económicas, alertando a las organizaciones sobre dónde es necesario tomar medidas para disminuir la liberación de los desechos, hacer un uso más racional de las materias primas e insumos, todo esto se traduce al mismo tiempo en una disminución de los costos de operación.

En la figura 5 se resumen los beneficios de la Contabilidad del Costo de Flujo de Materiales.

Por último, ISO se ha propuesto realizar un estándar internacional sobre este método<sup>18</sup>.

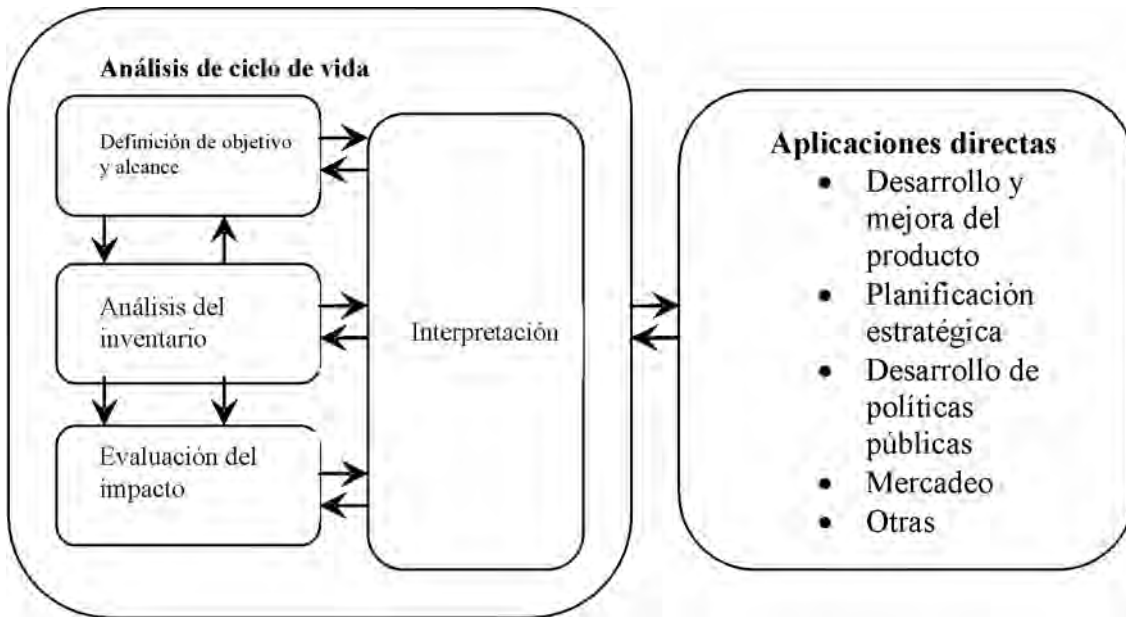


Figura 4. Marco de referencia del ACV (tomado de ISO 14040:2006).

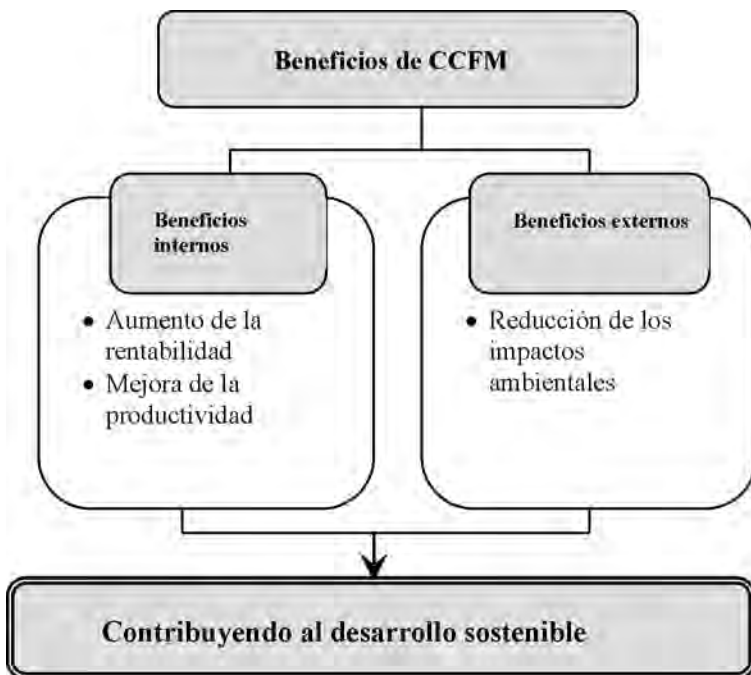


Figura 5. Beneficios del CCFM (tomado de *Material Flow Cost Accounting*. Japanese Industrial Standards Committee (JISC)/2007).

#### Método analítico 3: Intensidad de Materiales por Unidad de Servicio (Imus)

El método Imus lo desarrolló el Instituto Wuppertal de Alemania, en 1992.

Imus parte de la idea de que para el usuario de un producto es más importante el servicio que ofrece dicho bien más que el bien mismo. Por ejemplo, si usted desea comprar un computador portátil, quizás lo haga porque tiene necesidades de información, necesidades de movilidad o ambas a la vez.

En el primer caso, usted optaría por un equipo que le ofreciera los siguientes servicios:

- Facilidad para programar su agenda de trabajo.
- Que le permita aplicaciones multimedia.
- Que tenga un procesador de texto, una hoja de cálculo y formas de hacer presentaciones.

En el segundo caso, seguramente el equipo que usted compraría sería uno que le ofreciera:

- Acceso a correo electrónico (a través del teléfono celular, por ejemplo).
- Acceso a internet por red inalámbrica
- Conectividad a una red de computadores.

Así, en un estudio Imus, todos los materiales que se empleen o se vean afectados para producir un servicio determinado o función se suman todos, sin diferenciar entre distintos tipos de material o energía (considerando un enfoque de ciclo de vida); así se contabilizan las entradas antes de materializarse el servicio o función (fase de vida del servicio), como después de que se preste el servicio al usuario o consumidor final, lo que significa que hay que tener en cuenta las entradas de la producción, del uso, de las reparaciones, del reciclaje, de la disposición final, así como la infraestructura que se adicione (instalaciones, por ejemplo). Es importante aclarar que los residuos y emisiones no se consideran explícitamente, pero se presume que deberían disminuir en la medida en que la totalidad de materiales o entradas disminuyen.

La energía solamente se contabiliza siempre y cuando esté asociada con el flujo de materiales, es decir, si éstos sirven para producir energía y hacerla disponible para algún propósito.

Imus se puede emplear como herramienta de gestión ambiental para introducir mejoras de ecoeficiencia en el diseño de los procesos de bienes e infraestructura.

#### Método analítico 4: Análisis Ambiental de Entradas/Salidas (AAES)

AAES tiene sus bases en los trabajos que llevó a cabo el economista Wassily Leontief, premio Nobel de economía en 1973. Él desarrolló el análisis *input/output*<sup>19</sup>, que en términos generales no es más que una herramienta estadística que indica cuál ha sido la producción total de un sector productivo y cuál ha sido su destino, cuánto de lo que fabrican las empresas lo compra el consumidor y cuánto va a parar en cada uno del resto de sectores.

AAES (también puede denominarse análisis ambiental *input/output*), también conocido como contabilidad de flujo de materiales, análisis de flujo de materiales o análisis del flujo de recursos. Jaworski (2001) contabiliza los flujos de materiales en unidades físicas que se producen entre la naturaleza y los sistemas socioeconómicos. Para una región o país determinado, este tipo de estadísticas ofrece la oportunidad de conocer cuáles son las relaciones entre el uso de recursos, la producción económica, el consumo y la generación de residuos y emisiones.

En la figura 6 se ilustra el esquema general que subyace cuando se aplica el método AAES. Allí es importante aclarar que los flujos indirectos son los materiales que se remueven durante las actividades de extracción (remoción de capas vegetales en la minería o el material vegetal que se deja en el suelo en las actividades de la agricultura), pero que no entran en el sistema económico para hacerles una transformación posterior. Estos materiales no son visibles en la economía monetaria.



**Figura 6.** Esquema general del análisis de flujo de materiales en una economía (tomado de *Trade, materials, flows, and economic development in the South. The examples of Chile*. Stefan Giljum, 2004).

#### Método analítico 5: Costeo Ambiental del Ciclo de Vida (CACV)

Este método, conocido también como costeo de ciclo de vida, todavía está en evolución. Con esta metodología se determinan todos los costos del ciclo de vida de un producto: en el costeo de ciclo de vida convencional se incluyen las externalidades<sup>20</sup>, mientras que en la reciente propuesta de la ISO (International Organization for Standardization) se excluyen porque realmente dichas externalidades todavía no son pagadas o asumidas por alguien en particular (ISO/TC 207/SC5, 2008).

#### Método analítico 6: Evaluación de la Tecnología (ET)

Este método parte de la base de que a la tecnología en general se le reconoce en el mundo como una fuente importante que afecta de manera negativa el medio

ambiente, por lo que es necesario anticiparse a esos problemas (no sólo ambientales, sino también sociales o económicos, con especial atención a la interdependencia de los diferentes aspectos) para buscar evitarlos o reducirlos, específicamente antes de la aplicación de una determinada tecnología.

“La evaluación de la tecnología es un estudio que examina de manera sistemática los efectos en la sociedad que pueden ocurrir cuando una tecnología se introduce, extiende o se modifica. Hace énfasis en aquellas consecuencias que generalmente no son intencionadas, indirectas o demoran en manifestarse” (Coates, 1995).

#### Método analítico 7: Evaluación del Riesgo Ambiental (ERA)

Con este método se busca establecer los efectos sobre la salud de las personas o el medio ambiente derivados de la exposición a una sustancia química u otro material físico o biológico

#### Método analítico 8: Análisis Costo Beneficio (ACB)

Este es un método centrado en aspectos económicos, que se ha construido a partir de la teoría económica.

Con esta clase de método se pretende estimar todos los impactos que puede traer para una sociedad la realización de un proyecto determinado. El impacto total se establece calculando los costos y beneficios sociales, incluyéndose los efectos ambientales que una vez valorados se traducen en términos monetarios o económicos.

#### Método analítico 9: Análisis de Posición (AP)

Este instrumento surgió hacia el año de 1973 en Suecia. La participación de varias disciplinas es la parte central de este método en la discusión de los aspectos sociales, económicos y ambientales (Moberg, 1999).

La idea es que puedan emerger o hacerse visibles los conflictos que surgen por los intereses diferentes que tienen las personas y discutir abiertamente varios puntos de vista y opciones que llevan a una posición diferente en el futuro. Estos cambios de posición pueden conducir a cambios en las alternativas futuras estudiadas

El objetivo de la aplicación del método es ayudarse en la toma de decisiones estratégicas donde existan varios intereses que están en conflicto o tienen alguna forma de complejidad.

#### Método analítico 10: Requerimiento Total de Materiales (RTM)

Este método ha tenido su principal desarrollo y aplicación en el World Resource Institute a partir de 1997 y se parece mucho al Imus descrito anteriormente, salvo que sólo se aplica a nivel regional y no incluye en general la unidad de servicio producida o función de la que se habló con anterioridad (Moberg, 1999).

Básicamente lo que se hace es contabilizar la cantidad global de los materiales y recursos en una economía, incorporando no sólo los materiales y recursos directamente usados en la producción de bienes de un país sino aquellos flujos de materiales escondidos (recursos que son afectados por las actividades económicas y que actualmente no se contabilizan en las estadísticas contables de los países).

#### Método analítico 11: Contabilidad de la Gestión Ambiental (CGA)<sup>21</sup>

Teniendo en cuenta los planteamientos que ofrece the Japan Environmental Management Association (2002) y Schaltegger et al (2000), CGA es una parte de la contabilidad convencional para cuantificar en términos monetarios los impactos que una organización o planta<sup>22</sup> ocasiona.

Para ofrecer una explicación de CGA es necesario hacer una introducción de la contabilidad ambiental.

La contabilidad ambiental de manera amplia se clasifica en dos categorías:

- Contabilidad ambiental externa.
- Contabilidad ambiental interna.

En la primera categoría se recoge información de los impactos ambientales de los productos y operaciones de la empresa, la cual se contabiliza en términos físicos para que junto con los sistemas contables administrativos convencionales se puedan tomar decisiones. Es importante resaltar que esta categoría es una condición necesaria para cualquier contabilidad de la gestión ambiental.

La segunda categoría es la información que se suministra a las partes interesadas y que contiene datos sobre el consumo de recursos y las descargas al medio ambiente; esta información suele presentarse a veces a través de los informes ambientales o de sostenibilidad.

La CGA contempla entonces contabilizar el desempeño ambiental y económico mediante la adopción de sistemas contables que tengan en cuenta los asuntos ambientales de las empresas (costeo de ciclo de vida, evaluación del costo total, costeo de flujo de materiales, evaluación de inversiones ambientales).

Sea cual sea el enfoque empleado para la contabilidad de la gestión ambiental, existirán los siguientes aspectos comunes (Schaltegger et al., 2000):

- Claridad sobre cuáles son los beneficios ambientales, los costos y los costos de oportunidad.
- Seguimiento a los costos ambientales.
- Asignación de los costos ambientales a los productos y actividades que los ocasionan.
- Evaluación de las inversiones considerando los costos ambientales.

Finalmente, se enumeran las ventajas de la aplicación de este método (Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan, 2002):

- Deja claro cómo se afectan los estados financieros de una compañía por los impactos ambientales de las actividades, productos y servicios de una empresa.
- Surgen oportunidades para corregir las ineficiencias y disminuir los costos
- Facilita a la empresa determinar cuáles son los proyectos y actividades ambientales que merecen más atención.
- Sirve de apoyo para establecer los precios, la mezcla y el desarrollo de productos.
- Ayuda a acrecentar el valor agregado para el cliente.
- Facilita la toma de decisiones en materia de inversiones a mediano y largo plazos.

#### Método analítico 12: Evaluación de Costo Total (ECT)

El desarrollo del método ECT surge de la necesidad de contemplar un espectro más amplio de los costos y ahorros de un proyecto o actividad, más allá de los que se tienen en cuenta en la contabilidad convencional, si se

desea saber verdaderamente si un proyecto contribuye a la protección ambiental.

ECT es entonces un método más amplio que lo que se conoce como contabilidad del costo total<sup>23</sup> y consta de los siguientes componentes (Freeman, 1998):

- Inventario de costos que incluye un conjunto más amplio de costos, como por ejemplo los que se denominan costos indirectos u ocultos<sup>24</sup>, costos por responsabilidad legal<sup>25</sup> y otros beneficios menos tangibles (por ej., aumento de los ingresos por mejora de la imagen de la empresa, aumento de la productividad por un uso mejor de los recursos, entre otros).
- Asignación rigurosa de los costos para saber con claridad cuáles son las fuentes que contaminan (procesos y productos) y, por tanto, conocer los costos directos e indirectos mencionados antes con el fin de establecerse objetivos y programas de producción más limpia.
- Horizontes del tiempo más largos porque por las características propias de la aplicación de la producción más limpia, específicamente lo que tiene que ver con cambios en la tecnología, sus bondades económicas (por ejemplo, aumento de la rentabilidad) se demoran en manifestarse cuando se aplican tecnologías de final de tubo. Por eso se sugiere que para que sea afectiva la aplicación del método ECT, los horizontes de tiempo deberían estar entre cinco y diez años.
- Indicadores financieros que sirven para comparar diversos proyectos y valoraciones financieras más precisas, al igual que criterios como valor presente neto, tasa interna de retorno, relación costo-beneficio, Evaluación del Valor Agregado (EVA) son, entre otros indicadores, los que pueden emplearse en estos casos.

#### Método analítico 13: Huella Ecológica (HE)

El concepto de huella ecológica de la humanidad lo presentó inicialmente William Rees hace cerca de 30 años y desde 1990 ha sido desarrollado por Wackernagel y otros estudiantes en el Centro de Estudios de Sostenibilidad de México (Moberg, 1999).

La HE surge de la necesidad de medir si la biosfera es capaz de regenerarse por la presión o demanda que

ejerce el ser humano sobre el medio ambiente (demanda por agua, suelo para alimentos, bosques para absorber el CO<sub>2</sub> de los procesos de combustión, etc.).

Una definición algo más formal, adaptada de la literatura consultada (Wackernagel et al., sf.), es la siguiente:

La HE es un indicador del impacto del ser humano sobre el medio ambiente y se mide como el área total de suelo productivo biológicamente y agua que se necesita para producir los recursos que consumen esas personas y para asimilar los desechos que estas mismas personas ocasionan<sup>26</sup>, teniendo en cuenta las prácticas de producción predominantes durante un año específico.

En resumen, la HE es una forma de observar el área total que una población o economía (también un individuo, empresa o productos o servicio) requiere para su dinámica social económica y ambiental<sup>27</sup>.

#### Método analítico 14: Huella Hídrica (HI)

Este método lo desarrolló A.Y. Hoekstra y lo presentó en un evento en Holanda en el 2002.

El concepto que hay detrás de este indicador es que el agua cumple un papel importante en la vida de las personas, empresas y países. La gente consume grandes cantidades de agua, para beber, comer, asearse, lavar sus prendas de vestir, pero quizás lo más importante es que se emplea para producir bienes y servicios (alimentos, textiles, automóviles, etc.).

De ahí que haya resultado útil diseñar un indicador de cuánto consume y produce un país en relación con el consumo de agua de las personas que lo habitan.

Se define como huella hídrica de un país, empresa o individuo el volumen de agua que se necesita para la producción de bienes y servicios consumidos por los habitantes de ese país, de esa empresa o por un individuo en particular (Hoekstra, 2007).

También se introduce el concepto de agua virtual que mide el volumen de agua necesaria para fabricar un bien o un servicio.

Dado que los bienes y servicios se producen ya sea en el país o se importan, se ha introducido el concepto de Huella Hídrica Interna (HII) y de Huella Hídrica externa (HIE).

La HII de una nación corresponde a la cantidad de agua que se usa de las fuentes y recursos domésticos para producir bienes y servicios que consumen los habitantes de ese país.

La HIE de un país es el volumen de agua empleada en otros países para producir los bienes y servicios importados y que los consumen las personas de ese país.

#### Método analítico 15: Huella del Carbono de Productos (HCP)

La creciente preocupación de la gente, así como de instituciones privadas y gubernamentales, por lo que está sucediendo en el mundo por el calentamiento del planeta ha llevado al desarrollo de metodologías que ayuden a calcular los impactos que los productos y servicios tienen sobre el fenómeno ambiental global denominado efecto invernadero.

Este tipo de metodologías están en una etapa incipiente. No obstante esto, a continuación se destaca la siguiente definición de HCP:

“Es la suma de las emisiones de gases de efecto invernadero de todos los procesos que están asignados a un producto o servicio durante todo su ciclo de vida” (ISO/TC 207/SC7/N017, *Carbón Footprint Guidance Document*, 2008).

ISO contempla actualmente desarrollar dentro del Comité ISO/TC 207<sup>28</sup>, un norma internacional sobre huella del carbono de productos y servicios.

#### Conjunto de Métodos Procedimentales

Los métodos procedimentales de información ambiental más relevantes son los siguientes:

- Sistemas de Gestión Ambiental (SGA).
- Auditoría Ambiental (AA).
- Evaluación del Desempeño Ambiental (EDA)
- Ecoetiquetado (ET).
- Ecodiseño.
- Estudio de Impacto Ambiental (EIA).
- Acuerdos Voluntarios/Iniciativas Voluntarias.
- Informes Ambientales (IA).
- Informes de Sostenibilidad (IS).
- Gestión de la Calidad Ambiental Total (GCAT).
- Tablero de Mando Sostenible (TMS).
- Gestión Ambiental de la Cadena Logística (GACL).
- Auditoría de Minimización de Residuos o Desechos (AMD).
- Auditoría de Producción más Limpia (Aplim).

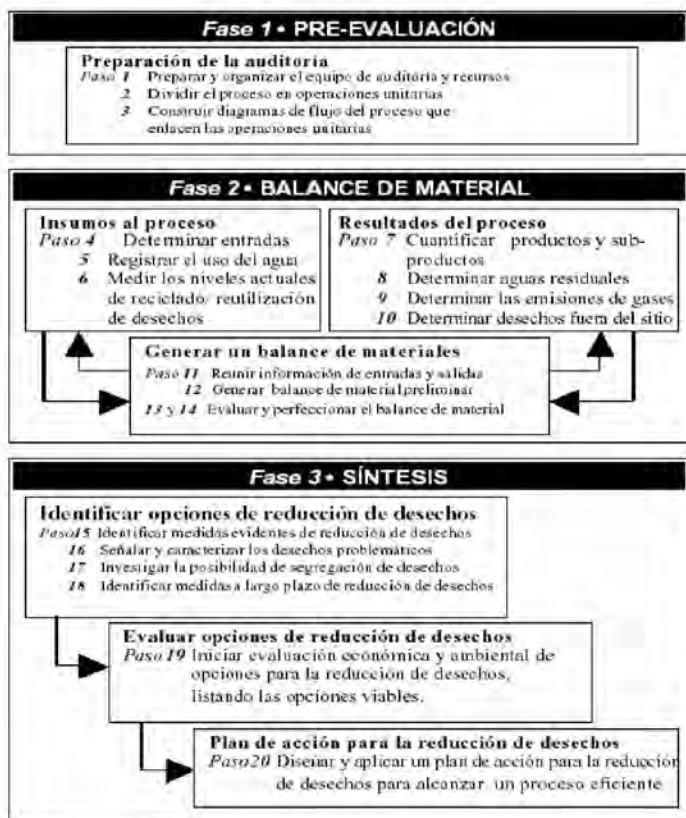


Figura 7. Directrices para una auditoría de minimización de residuos (adaptado de *Auditt and reduction Manual for Industrial Emissions and Wastes*, Unido/Unep, 1991).

A continuación se expone cada uno de estos métodos.

#### Método procedimental 1: Sistemas de Gestión Ambiental (SGA)

En particular, se hace referencia a los sistemas de gestión ambiental de la familia de normas internacionales de la serie ISO 14000, específicamente a ISO 14001:2004.

Un sistema de gestión ambiental como el especificado en ISO 14001 no es más que un conjunto de partes interrelacionadas para el establecimiento y aplicación de la política y objetivos ambientales.

Como se indicó al comienzo, el método procedimental se caracteriza principalmente porque ofrece un conjunto de pasos o procedimientos para ayudar en la toma de decisiones conducente a mejorar el desempeño ambiental de una organización, pues esos pasos que trae esta norma en conjunto se denominan ciclo P-H-V-A (Planear-Hacer-Verificar-Actuar) o ciclo Deming de mejora continua (figura 8).

La planificación (P) determina qué objetivos se quieren alcanzar, teniendo en cuenta también lo establecido en la política ambiental.

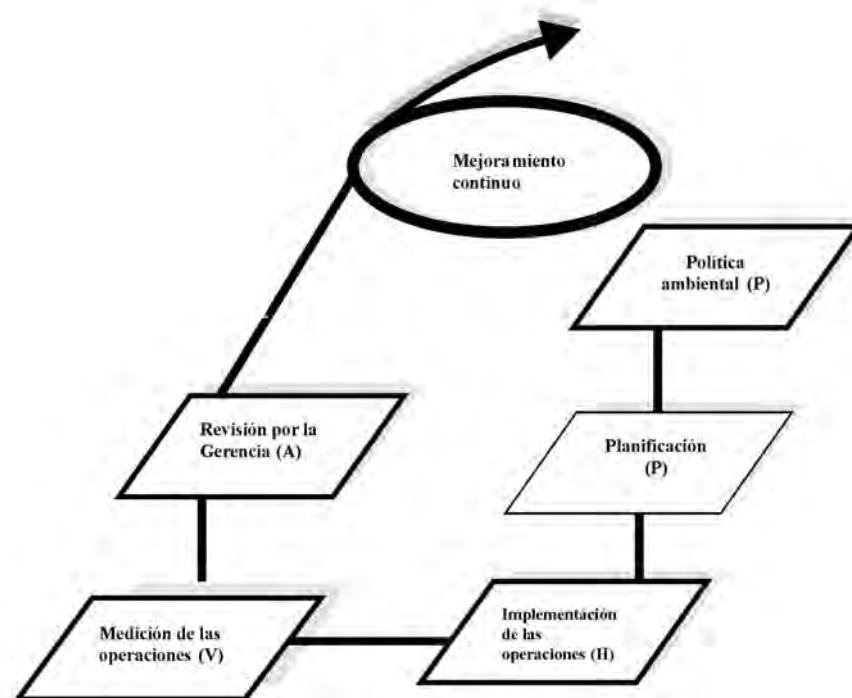


Figura 8. Modelo PHVA del sistema de gestión ambiental de ISO 14001:2004.



Hacer (H) permite poner en funcionamiento las actividades y los controles operacionales para que ambientalmente dichas actividades no causen impactos ambientales significativos.

Verificar (V) permite hacer seguimiento y las mediciones necesarias a las actividades y controles operacionales para saber si se están alcanzando los objetivos y metas ambientales, cumpliendo las leyes y regulaciones aplicables y otros requisitos a los que se haya comprometido la empresa voluntariamente y demás compromisos establecidos en la política ambiental.

Actuar (A) para hacer correctivos necesarios y las acciones de mejora continua del desempeño del sistema de gestión ambiental de la empresa.

Finalmente, es útil aclarar que este estándar internacional no es prescriptivo, es decir, no establece cómo hacer las cosas sino indica qué se debe hacer.

#### Método procedimental 2: Auditoría Ambiental (AA)/Auditoría de Producción más Limpia (Aplim)

La AA, en su más amplia concepción, es un conjunto de pasos que se llevan a cabo en un orden determinado por personas independientes para recoger evidencias<sup>29</sup> y compararlas con los criterios de auditoría<sup>30</sup>, para concluir (hallazgos)<sup>31</sup> si estos se cumplen apropiadamente.

De acuerdo con el estándar internacional ISO 19011, que fija las orientaciones para auditar sistemas de gestión de la calidad o ambientales, los pasos para realizar una auditoría son:

- Inicio de la auditoría, donde se aclaran los propósitos de la auditoría y se selecciona el equipo auditor.
- Revisión de alguna documentación del sistema de gestión ambiental (manual ambiental, programas de gestión ambiental) para preparar las actividades de planta de la auditoría.
- Preparación de las actividades de auditoría, que incluyen el plan de auditoría<sup>32</sup>, los papeles de los auditores, el alistamiento de las listas de chequeo y otros documentos de trabajo de los auditores.
- Realización de las actividades de auditoría en las instalaciones de la empresa, que comprende principalmente la generación de hallazgos y las conclusiones de los auditores.
- Informe de auditoría.

- Finalización de la auditoría, cuando todas las actividades planificadas se han llevado a cabo en su totalidad.
- Seguimiento, que consiste en determinar por parte de los auditores si se llevaron a cabo los correctivos necesarios.

Las auditorías de minimización de desechos o residuos, también denominadas auditorías de producción más limpia, son por así decirlo un tipo de auditoría ambiental pero que tiene ciertas características especiales que la diferencian muy bien de las auditorías ambientales de desempeño y de sistema, que es como se conoce a la auditoría ambiental descrita anteriormente.

Según Unep, esta clase de auditoría tiene las siguientes características:

- Es un método diseñado para asegurar a los gerentes industriales que su organización está operando de una manera ambientalmente segura y económicamente eficiente.
- Se utiliza para documentar los tipos y cantidades de desechos generados por la compañía.
- Es un enfoque sistemático para identificar y evaluar las opciones de producción más limpia.

En la figura 7 se resumen los pasos de este tipo de auditoría.

#### Método procedimental 3: Evaluación del Desempeño Ambiental (EDA)

La EDA no es más que el método que una organización puede aplicar para tomar decisiones sobre su desempeño ambiental a través del uso o desarrollo de indicadores ambientales.

Los pasos en general del método son los siguientes (ISO 14031:2000)<sup>33</sup>.

- Decidir las causas más importantes de sus problemas ambientales, derivados de sus operaciones y productos.
- Determinar qué indicadores se van a trabajar o desarrollar
- Recolectar los datos (sobre consumo de recursos, descargas al medio ambiente líquidas, sólidas y gaseosas, etc.).

- Expresar los datos recopilados en indicadores ambientales.
- Comparar la información de los indicadores con las metas u objetivos de desempeño ambiental que se quieren alcanzar.
- Comunicar a los departamentos o procesos de la empresa cómo va el desempeño ambiental de la compañía para que propongan mejoras y los correctivos necesarios.

#### Método procedimental 4: Eco-etiquetado (ET)

Conocido también como etiqueta ambiental, sello ecológico o sello ambiental.

En lo fundamental, con una ET se busca que los productos a los que se les ha otorgado tal distinción garanticen para los usuarios o consumidores que dicho bien tiene una determinada calidad ambiental, comparada con otros de su misma categoría.

La familia de normas ISO 14020 clasifica las etiquetas en tres clases:

- Etiquetas Tipo I, también denominadas programas nacionales de ecoetiquetado. Los otorga un cuerpo certificador independiente de la empresa que opta por el sello. Un ejemplo de esto es el sello ambiental colombiano que ha venido desarrollándose entre el Icontec y el Grupo de Mercados Verdes del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (por ejemplo, NTC 5585 sobre criterios ambientales para aceites lubricantes para motores de dos tiempos de gasolina, NTC 5133 sobre criterios ambientales para alojamiento y hospedaje, y NTC 5131 sobre criterios ambientales para productos detergentes de limpieza); otro ejemplo conocido es el sello Ángel Azul de Alemania.
- Etiquetas tipo II, o autodeclaraciones ambientales. Son leyendas ambientales que el propio empresario ha decidido colocar en sus productos, por ejemplo aquellas que aparecen en ciertos productos de compañías como Volvo o ABB (Asean Brown Boverly) o en algunos electrodomésticos.
- Etiquetas tipo III, también conocidas como etiquetas tipo cereal, que contienen información más detallada de un conjunto de criterios. Incluyen uno o varios indicadores o índices ambientales. Por ejemplo, un perfil energético que incluya la cantidad de energía utilizada para la elaboración del producto.

#### Método procedimental 5: Ecodiseño (ED)

Denominado también diseño del producto para el medio ambiente, diseño verde o ecológico, diseño ambientalmente consciente, algunos expertos e instituciones lo llaman desarrollo sostenible de productos (Van Weenen, 1997, The Centre for Sustainable Design); hace un mayor hincapié en la innovación de funciones para los productos y en consecuencia nuevos e innovadores bienes, más que en el rediseño de los productos existentes, que sería el foco principal del ecodiseño.

Este método ha tenido una evolución que ha llevado a que en algunos momentos se le dé mayor énfasis al rediseño del producto, y en otros casos al diseño y desarrollo de nuevos productos, con un mayor énfasis en los aspectos técnicos.

Hoy en día el ecodiseño tiene un enfoque más amplio. Es un método de trabajo que cada vez es más multidisciplinario al tener que contemplar aspectos de tecnología de procesos y productos, legales, económicos y políticos, y un pensamiento/gestión de ciclo de vida.

He aquí una definición quizás algo más formal:

“Es una metodología dirigida hacia una reducción o eliminación sistemática de los impactos ambientales implicados en todo el ciclo de vida de un producto, desde la extracción de materias primas hasta la disposición final” (Giudice et al., 2006).

Por último, es útil destacar que la familia de normas de la serie ISO 14000 y otras entidades reconocidas internacionalmente ofrece algunas herramientas de apoyo al diseño para el medio ambiente<sup>34</sup>:

- El conjunto de normas ISO 14040 mencionadas con anterioridad sobre ACV.
- ISO 14062 sobre integración de los aspectos ambientales en el diseño y desarrollo de productos
- ISO 17422: Plásticos: Aspectos ambientales. Directrices para su inclusión en las normas
- Directrices IEC 109: aspectos ambientales. Inclusión en normas de productos electrónicos
- Directrices IEC 114: diseño ambientalmente consciente. Integrar los aspectos ambientales en el diseño y desarrollo de productos electrónicos.
- Informe DIN 108: directrices para la inclusión de aspectos ambientales en el desarrollo y normalización de productos.

### Método procedimental 6: Estudio de Impacto Ambiental (EIA)

Este método aplica a los proyectos, obras o actividades de interés para las autoridades. Con ello, el Estado busca (Herrera, 2005):

- Prevenir, corregir y controlar los impactos ambientales.
- Optimizar y racionalizar el uso de los recursos naturales
- Maximizar los beneficios ocasionados.
- Garantizar que los impactos ambientales no superen la capacidad de absorción de los ecosistemas, ni de las comunidades afectadas.
- Proteger los derechos colectivos de la ciudadanía.

En conclusión, con este tipo de metodología se obliga a los planificadores y ejecutores de proyectos a incorporar los asuntos ambientales, de manera que queden claros los efectos de estos proyectos sobre el medio ambiente y decidir cuáles serían las mejores alternativas de gestión para los impactos reales o potenciales identificados.

### Método procedimental 7: Acuerdos Voluntarios/Iniciativas Voluntarias (IV)

De manera más amplia, este tipo de instrumentos se conoce como Iniciativas Voluntarias.

Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), una iniciativa ambiental hace referencia de modo general a los acuerdos o convenios voluntarios, programas, normas y códigos voluntarios de conducta, directrices, principios, declaraciones, políticas, etc., que adopta una empresa, industria, gobierno o una tercera parte.

Ejemplos de tales iniciativas serían:

- Los Premios a la Excelencia en Gestión Ambiental (Pread), que contempla la autoridad ambiental de la ciudad de Bogotá, o los premios Progresá, de la autoridad ambiental de Medellín, entre otros, para reconocer la mejora en el desempeño ambiental de las empresas de diversos sectores.
- Los convenios de producción más limpia firmados entre el gobierno colombiano y diferentes actores del sector privado de los órdenes regional y nacional,

para el cumplimiento de metas de prevención de la contaminación.

- El programa estadounidense Energy Star Buildings and Green Lights (para la reducción en el consumo de energía de productos y servicios).
- En materia de códigos de conducta que las empresas pueden acoger voluntariamente, están:
- Carta Empresarial para el Desarrollo Sostenible de la Cámara de Comercio Internacional.
- El proceso de responsabilidad integral, que lideran en Colombia Acoplásticos, la Andi y el Consejo Colombiano de Seguridad, que vienen aplicando más de 70 países en el mundo, se originó en Canadá, donde están sus oficinas centrales.

Las iniciativas voluntarias ayudan a que las empresas cambien su actitud y la manera de administrar sus asuntos ambientales a mediano y largo plazos, porque los motiva al permitirles que sean innovadores y tengan flexibilidad para la consecución de los objetivos y metas ambientales, lo que los vuelca a la aplicación de la producción más limpia y no enfoques de final de tubo.

Así mismo, mejora el diálogo y la confianza entre la industria y el gobierno y el público en general, lo que propicia un mejor clima para la cooperación mutua y la expedición de leyes y regulaciones.

Finalmente, este tipo de herramientas ayudan a las autoridades a que sea menos onerosa la labor de inspección y control, porque más empresas de manera voluntaria están comprometidas a cumplir la ley e ir más allá de ésta, de modo que las autoridades pueden orientar sus recursos hacia aquellas empresas con un pobre desempeño ambiental.

### Método procedimental 8: Informes Ambientales (IA)/Informes de Sostenibilidad (IS)

Los reportes ambientales y de sostenibilidad de las organizaciones son métodos, en esencia, de comunicación interna y externa con todas aquellas partes interesadas legítimas de un negocio, pero que se constituyen en motor para impulsar mejoras en el desempeño ambiental de los negocios.

Los informes de sostenibilidad sólo contemplan la dimensión ambiental, muestran a los dueños de la empresa, junta directiva, trabajadores, autoridades y público en general, las mediciones del desempeño ambiental,

incluyendo el cumplimiento de los requisitos de la empresa y los requisitos regulatorios. En algunos casos, estos informes los verifican o auditan terceras partes para dar fe de que la información es veraz, mientras que los informes de sostenibilidad muestran cuál ha sido el desempeño en las tres dimensiones del desarrollo sostenible: social, económica y ambiental.

Global Report Initiative (GRI) es una entidad privada encargada de desarrollar las metodologías y guías para la elaboración de informes de sostenibilidad. Cada vez son más las empresas que han acogido con éxito tales métodos porque según algunos expertos se constituyen hasta el día de hoy en las directrices más detalladas, y su aplicación rigurosa con seguridad ayudará a mejorar sustancialmente el desempeño global de las organizaciones (Heinrich Daub, 2007)<sup>35</sup>.

#### Método procedimental 9: Gestión Total de la Calidad Ambiental (GTCA)

La gestión total de la calidad surgió en Estados Unidos gracias a Edward Deming, para mejorar la calidad de productos y servicios; el enfoque tuvo y sigue teniendo acogida, y ha resultado útil incluirlo también para la gestión ambiental. Se denomina GTCA cuando los principios y metodologías de la gestión total de la calidad se aplican a las estrategias ambientales.

La Gemi (Global Environmental Management Initiative)<sup>36</sup>, que agrupa a varias empresas líderes en promover en el mundo la excelencia ambiental de los negocios, son las que más han adoptado este enfoque.

#### Método procedimental 10: Tablero Mando Sostenible (TMS)

Como se sabe, el tablero de mando y control tradicional es un instrumento de gestión que facilita a las organizaciones comunicar a sus partes interesadas acciones pasadas y futuras, derivadas de sus estrategias de negocios mediante el empleo de indicadores claves.

Ahora bien, TMS incorpora la gestión de la sostenibilidad con la estrategia del negocio, de manera que se puede incorporar al tablero de mando y control tradicional el tema de la sostenibilidad (aspectos sociales y ambientales), y se muestren las acciones concretas en esta materia a través de indicadores como resultado de la inclusión de la sostenibilidad en el plan estratégico del negocio.

#### Método procedimental 11: Gestión Ambiental de la Cadena Logística (GACL)

La gestión del sistema de suministros, como también se conoce a la gestión de la cadena logística, son en términos generales los acuerdos permanentes de cooperación que han hecho los proveedores de bienes y servicios y sus clientes, con el fin de optimizar las actividades comerciales internas y entre empresas.

La GACL son las medidas ambientales que las compañías logran inducir en sus proveedores y compradores en la cadena de suministro, en la cual se encuentran integradas.

#### Criterios para seleccionar los métodos de información ambiental

Algunos de los métodos expuestos presentan diferencias entre sí que dejan claro cuándo utilizar un método u otro, o la combinación de una herramienta con otra.

Al respecto ha habido estudios comparativos muy completos, como los desarrollados por Moberg (1999), Wisberg et al. (2002) y Guinée et al. (2002), que el lector puede consultar si desea una información más detallada al respecto. Seguidamente se resumen los rasgos más relevantes de estos estudios más otras consideraciones que el autor ha querido destacar (tabla 3).

Cabe señalar que los criterios que se ilustran en la tabla 3 no siempre son independientes uno del otro, al contrario, la escogencia de un método en un momento determinado puede llevar a que se requiera otro método en algún otro momento o que una herramienta u otra se complementen y quizás en algunos casos entren en confrontación.

También es útil afirmar que todavía no existen estudios concluyentes que permitan determinar las fortalezas y debilidades de una u otra herramienta, por lo que aquellas que se muestran en este artículo son sólo de carácter indicativo y obedecen a la apreciación del autor y la opinión favorable o negativa que generalmente los expertos han manifestado (Wisberg et al., 2002; Moberg, 1999).

**Tabla 3**  
Cuadro comparativo de los rasgos característicos de los métodos de información ambiental

Método	Propósito	Objeto de Análisis	Orientado a la cadena de valor	Características espaciales	Fortalezas	Debilidades	Empleado en o en combinación de o como complemento de
ACV	Gestión ambiental de un sistema producto	Principalmente Productos (bienes y servicios)	Todo el ciclo de vida	Global a regional y generalmente sin un sitio específico	Integral con respecto al impacto ambiental asociado con una función o producto Tiene un marco de referencia reconocido internacionalmente (ISO 14000, UNEP, SETAC)	Complejo porque considera de integralmente la cadena de procesos-y por lo tanto es intensivo en datos No considera directamente los cambios futuros en la tecnología y demanda del producto No contempla otros efectos sociales como los de seguridad y salud ocupacional	EIA, SGA, ED, ET.
CFM	Conocer el costo del flujo de materiales y residuos	Producto/Proceso /Actividad/ Materiales	Restringido a una planta o sitio específico	Local/Planta específica	Se descubren costos ocultos y otras ineficiencias económicas en el uso de recursos.	Todavía no existe una metodología internamente aceptada	SGA, IS, IA, TMS
Imus	Aumentar la productividad de los recursos asociada a la función de los productos	Productos (bienes y servicios)	Todo el ciclo de vida	Global/Regional y sin especificar un sitio o planta específica	Se puede emplear para monitorear el progreso en la aplicación del concepto "desmaterialización". Evalúa todos los impactos de los materiales directos de llevar a cabo y de comunicar. -Se emplea una unidad para la masa y energía	Solamente tiene en cuenta las entradas del sistema Solamente tiene en cuenta el peso del material empleado lo que puede que no sea la mejor forma de estimar los impactos ambientales asociados a sustancias químicas, residuos peligrosos y los impactos sobre la biodiversidad	AV, ICA
HE	Medir esfuerzos en el logro del desarrollo sostenible	País/Región/ Persona/ Empresa/ Producto o servicio.	No	Global/Regional/Área definida//Generalmente sin especificar un sitio o planta	Una medida para monitorear el progreso hacia el desarrollo sostenible Útil para propósitos educativos	Los aspectos toxicológicos no se incluyen La escasez de agua no se muestra Difícil de comparar HE individuales	Políticas gubernamentales
HI	Medir los esfuerzos en el logro del desarrollo sostenible	País/Región/ Persona/ Empresa/ Producto o servicio	No	Global/Regional/Área definida//Generalmente sin especificar un sitio o planta	Una medida para monitorear el progreso hacia el desarrollo sostenible Útil para propósitos educativos	Los aspectos toxicológicos no se incluyen Difícil de comparar HI individuales Riesgo de doble contabilidad	Políticas gubernamentales

Método	Propósito	Objeto de Análisis	Orientado a la cadena de valor	Características espaciales	Fortalezas	Debilidades	Empleado en o en combinación de o como complemento de
HC	Medir los esfuerzos en la lucha por combatir el calentamiento global	Productos y servicios	Todo el ciclo de vida	Global/Regional/Área definida//Generalmente especificando un sitio o planta	Una medida para monitorear el progreso hacia la lucha por el calentamiento global	Sólo contempla las emisiones de gases de efecto invernadero dejando de lado otras causas de impactos ambientales Todavía no existe una metodología reconocida internacionalmente	ACV, SGA, EDA, ET, ED, IA, IS, TMS, GAACL
AMES	Evaluación de los cambios estructurales en la industria y otros sectores económicos y sociales	Productos y servicios	No	Regional y sin especificar un sitio o planta	Vincula los impactos ecológicos y económicos Se puede emplear para evaluar los procesos en un ACV.	Problemas considerables en el levantamiento de los datos Sujeta a las limitaciones de los niveles altos de agregación en las tablas internacionales de entradas y salidas	LCA
ERA	Gestión del riesgo	Sustancias (principalmente químicas)	No	Local/Regional y sitio específico	Una herramienta bien precisa para evaluar los riesgos a la salud humana y los ecosistemas debido a la emisión de sustancias peligrosas Tiene un reconocimiento internacional por la OECD, UE y US EPA. <sup>3,7</sup>	El riesgo real de los efectos negativos sobre la salud de las personas puede ser difícil de estimar. Las incertidumbres en los modelos y en los datos empleados tienden a declaraciones conservadoras. Para tener una predicción exacta requiere mucho tiempo, recursos y gran cantidad de datos Se requiere conocimiento experto	LCA, IMUS
CCV	Evaluar los costos internos y/o externos del ciclo de vida de un producto	Producto/ Proceso/ Actividad	Sí	Global y sin un sitio específico	Evalúa los costos internos y/o externos Ofrece un solo indicador	No existe todavía una metodología reconocida La valoración de los impactos ambientales todavía está en discusión Se tienen que hacer más supuestos que en LCA debido a la monetarización de los impactos Gran incertidumbre debido a la cantidad de valoraciones	ECT, ACB, CFM, IMUS, ACV

Método	Propósito	Objeto de Análisis	Orientado a la cadena de valor	Características espaciales	Fortalezas	Debilidades	Empleado en o en combinación de o como complemento de
ACB	Evaluar el costo beneficio del beneficio neto (económico) de un proyecto o actividad	Proyecto o actividad	No	Regional/local y sitio específico	Puede descubrirse los costos y beneficios de las alternativas de un proyecto con un solo indicador. Fácil para análisis de comparación de diferentes proyectos o actividades	La valoración de los impactos ambientales puede cuestionarse; no existe un acuerdo general sobre los métodos de valoración Gran incertidumbre debido a varias valoraciones Puesto que el resultado se presenta de forma agregada, puede pasarse por alto la incertidumbre de este método Requisitos de recursos muy complejos, excepto cuando los límites del sistema se definen de manera reducida.	SGA, ACV, CCV, IMUS, ERA
SGA	Aplicar la política ambiental de una empresa	Empresa/Procesos/Actividad	No	Sitio o planta específica	Fácil de adoptar Tiene reconocimiento internacional (ISO 14000)	No necesariamente es garantía de un excelente desempeño ambiental El interés de la empresa se limita a las inversiones ambientales que den ganancias, mientras que muchas medidas de protección ambiental en las organizaciones no siempre son rentables No requiere un desempeño ambiental mínimo y aún el cumplimiento legal no siempre se garantiza.	ACV, EDA, CFM, LCC, ET, ED, IA, IS, GCAT, TMS, GACL, HC, ERA, CCV, ET, ACB, CA, ECT
AA/ APLIM/ AMD	Determinar el cumplimiento de requisitos de gestión ambiental	Empresa/Procesos/Actividad/Producto/Materiales	No	Sitio o planta específica	Tiene un marco de referencia reconocido internacionalmente (ISO 14000)	Los criterios de los auditores y de los diferentes cuerpos certificadores pueden a la hora de otorgar o no una certificación de producto o de sistema.	SGA, EDA
EDA	Medición del desempeño ambiental	Empresa/procesos/actividad	No	Sitio o planta específica	Marco de referencia reconocido internacionalmente (ISO 14000)	Principalmente hace énfasis en indicadores ambientales a nivel de la organización o proceso, dejando de lado indicadores orientados al producto	SGA, ACV, CFM, HC, ED, IA, IS, TMS

Método	Propósito	Objeto de Análisis	Orientado a la cadena de valor	Características espaciales	Fortalezas	Debilidades	Empleado en o en combinación de o como complemento de
Eco-etiquetado	Comunicar información de los aspectos ambientales de productos y servicios	Producto y servicio	Sí	Sitio o planta específica	Marco de referencia reconocido internacionalmente (ISO 14000)	No define un conjunto mínimo de indicadores que todas las empresas deberían tener ni tampoco ofrece al menos la posibilidad de referenciar fuentes que describan los modelos de indicadores más ampliamente aceptados.	ACV, CCV, SGA, EDA, IS, IA
Eco-diseño	Diseño/Rediseño de productos	Productos y servicios	Sí	Sitio o planta específica	Existen marcos de referencias y metodologías con cierto reconocimiento internacional (Por ejemplo Manual de la UNEP).	Requiere conocimiento experto de varias disciplinas	ACV, CCV, SGA, HC
EIA	Informar sobre los impactos ambientales potenciales en la planeación de un proyecto, obra o actividad para apoyar a las autoridades en la toma de decisiones sobre concesión de permisos y licencias para el proyecto/obra/actividad propuesto.	Proyectos (plantas industriales, construcción de carreteras, etc.)	No	Regional/Específico un sitio en particular	Ofrece a los toman decisiones información sobre los aspectos ambientales de un proyecto propuesto. Supuestamente se tiene en cuenta a la comunidad para pedirles su opinión sobre el proyecto propuesto. Es un requisito legal	Los EIA son costosos. Los EIA suelen basarse en datos en muchos casos pobres que tienen las autoridades regionales. Muchos de los criterios empleados para un EIA son de carácter subjetivo.	SGA, EDA



Método	Propósito	Objeto de Análisis	Orientado a la cadena de valor	Características espaciales	Fortalezas	Debilidades	Empleado en o en combinación de o como complemento de
AV	Comprometer de manera voluntaria a las empresas y organizaciones de la industria para solucionar problemas ambientales	Empresa	En algunos casos	Regional/Sitio específico o planta	Participan las autoridades o los acuerdos son reconocidos por las autoridades Pueden ayudar a racionalizar los esfuerzos de las autoridades en material de comando y control (exigencia de cumplimiento de leyes y regulaciones)	Riesgo de incumplimiento de los acuerdos Sanciones no muy fuertes para los que incumplan los acuerdos Efecto "Free Rider", es decir que los que no están en los convenios voluntarios, puedan beneficiarse por el esfuerzo de los que sí están	Mayoría de herramientas procedimentales y analíticas
IA	Informar a las partes interesadas sobre el desempeño ambiental de una empresa	Empresa	No	Sitio o planta específica	Puede construirse para la empresa en un factor que jalone mejoras en el desempeño ambiental Puede demandar mucho tiempo y costos para la empresa elaborar el informe Pueden ser susceptibles de que una tercera parte verifique o audite la veracidad de la información presentada	Riesgo que la información que se comunique sea manipulada a favor de la empresa Los informes ambientales suelen ser los mismos independientemente del público objetivo, lo que puede acarrear que para cierta parte interesada (por ejemplo comunidad) no sea fácil comprender la información consignada en aquellos informes	SGA, EDA, AA, ET, ED, CFM, HE, HI, HC, CCV
IS	Informar sobre el desempeño ambiental, social y económico de una empresa	Empresa	No necesariamente	Sitio o planta específica	Existen metodologías de reconocimiento internacional para la elaboración de este tipo de informes (Directrices GRI) -Costoso de elaborar -Demanda tiempo -Puede requerir conocimiento experto	Riesgo que la información que se comunique sea manipulada a favor de la empresa	SGA, EDA, AA, ET, ED, CFM, HE, HI, HC, CCV
GCA	Considerar en los planes estratégicos de calidad el tema ambiental	Empresa	No necesariamente	Sitio o planta específica	Incorporar los asuntos ambientales dentro de las estrategias de calidad de la compañía	No necesariamente conlleva a una mejora agresiva del desempeño ambiental de una empresa	Mayoría de herramientas procedimentales, ACV, CFM, IMUS, HE, HC, ERA, CCV, ET, ACB.

Método	Propósito	Objeto de Análisis	Orientado a la cadena de valor	Características espaciales	Fortalezas	Debilidades	Empleado en o en combinación de o como complemento de
TMS	Informar el impacto que sobre la estrategia global del negocio tienen los asuntos ambientales, sociales y económicos mediante el empleo de indicadores clave.	Empresa	No	Sitio o plante específica	Los asuntos ambientales forman parte de la estrategia global del negocio Forma fácil de comunicar el desempeño ambiental de una empresa	Dificultad en determinar los indicadores clave para el negocio	SGA, EDA principalmente.
GACL	Hacer sostenible las operaciones de todos los involucrados en la cadena del valor del negocio	Empresas/ procesos/ procesos/	Enfoque de ciclo de vida	Regional/Sitio específico o planta	No solo se puede acelerar el desempeño ambiental de la empresa sino de todos aquellos que le apoyan en el suministro de sus materias primas, en la comercialización de los productos y en la gestión de los residuos.	Sólo participan los que directamente están involucrados en la cadena de valor del negocio (clientes y proveedores en general)	ACV, CCV, ET, SGA, EDA, CFM, ED

## ELEMENTOS TÉCNICOS Y DATOS

Finalmente, cada método de información ambiental, ya sea analítico o procedimental está formado por elementos técnicos y los datos; el primero de ellos se refiere a un conjunto de medios para recoger, obtener, procesar y analizar información, como por ejemplo listas de chequeo, formatos, balances de materia y energía, modelos estadísticos, tormenta de ideas o cualquier otra metodología que tenga esa finalidad; el segundo son más que cifras y entradas (cualitativas y cuantitativas) que van a alimentar los elementos técnicos, y es allí donde este tipo de datos se convierte en información, es decir, adquieren un significado propio para el usuario del método de información ambiental.

## A MODO DE CONCLUSIÓN

Las consideraciones expuestas ofrecen un panorama general de los métodos de gestión ambiental.

El método o la combinación de métodos que escoga una empresa depende de lo que quiera hacer y los resultados que espera obtener. Sin embargo, dado que cada herramienta tiene sus fortalezas y puntos débiles (algunas son flexibles en su aplicación y otras no tanto, por ejemplo, todavía no existe un método que responda a todos los problemas y asuntos de interés de una empresa) puede resultar apresurado decir que existe la herramienta o la combinación perfecta para cada caso, y la aplicación de uno u otro método para la toma de decisiones será siempre una oportunidad para aprender cada vez más de las ventajas y desventajas que cada instrumento tiene.

De ahí que es fascinante saber que todavía hay grandes posibilidades de investigar y seguir aprendiendo sobre los métodos para la toma de decisiones ambientales. Sólo se espera que para el lector interesado en esta cuestión, el panorama general que se ha presentado sea un incentivo y al mismo tiempo un punto de partida para estudiar más a fondo el tema.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Alois de Lardee el, Jacqueline (ed.) (1995). Tools for Sustainability in Industry. *Unep Industry & Environment*, vol. 18 No. 2-3, April-September., pp.4-10.
2. Aloes de Larder (ed.) (1998). Voluntary Initiatives: Improving Environmental Performance and Helping Achieve Sustainability. *Unep Industry & Environment*, vol. 21 No. 1-2. January-June. Double Issue. pp. 4-9.
3. Aloes de Larder (ed.) (1997). Sustainable Products: From Re-design to Sustainable Development. *Unep Industry & Environment*, vol. 20 No. 1-2. January-June. p. 3.
4. Assefa, Getachew (2005). On Sustainability Assessment of Technical Systems. Doctoral Thesis. Royal Institute of Technology.
5. Baley, Reid, Allen, Jane K. & Bert, Bras (2004). Applying Ecological Input-Output Flow Analysis to Material Flows in Industrial Systems. Part I: Tracing Flows. *Journal of Industrial Ecology*, vol. 8, No. 1-2. pp. 46-53.
6. Bieker, Thomas (2002). *Managing Corporate Sustainability with the Balance Scorecard: Developing a Balanced Scorecard for Integrity Management*. Institute for the Economy and the Environment. University of St. Gallen. pp. 6-9.
7. Bras, Berr (1997). Incorporating Environmental Issues in Product Design and Realization. *Unep Industry & Environment*, vol. 20 No. 1-2. January-June. pp. 7-13.
8. Cerf, Doug (2007). Sustainability Balanced Scorecard. Donald Bren Graduate School of Environmental Science and Management. *Environmental and Accounting & Financial Management (ESM 284)* (Slides).
9. Charter, Martin (1997). Managing Eco-design, 1997. *Unep Industry & Environment*, vol. 20 No. 1-2. January-June. pp. 29-33.
10. Comisión para la Cooperación Ambiental (1999). Apoyo a los Mercados ecológicos. Programas de etiquetado, certificación y adquisición de productos con ventaja ambiental en Canadá, Estados Unidos y México.
11. Compass Resource Management Ltd., Planit Management Inc., The Sustainability Ventures Group Inc. (1997). Total Cost Assessment Guidelines (Draft). The BC Ministry of Environment, Lands & Parks, Environment Canada Industry Canada.
12. Daub, Claus-Heinrich (2007). Assessing the Quality of Sustainability Reporting: An Alternative Methodological Approach. *Journal of Cleaner Production*, vol. 15, No. 1. pp. 75-81
13. Dröll, Peter (1998). Environmental Agreements: The European Commission's Policy and Programme. *Unep Industry & Environment*, vol. 21 No. 1-2. January-June. Double Issue, pp. 10-15.
14. Ecos (The European Environmental Citizens' Organisation for Standardization (2007). Joint Anec/Ecos comments on the ISO 14000 Series Review. ISO/TC 207 N874C. Anec-ENV-2007-G-030 Final.
15. Environmental Industries Office, Environmental Policy Division. Industrial Science and Technology Policy and Environment Bureau. Ministry of Economy, Trade and Industry (Japan) (2007). Guide for Material Flow Cost Accounting (Ver. 1).
16. Fatta, Despo & Moll, Stephan (2003). Assessment of Information Related to Wastes and Material Flows. A Catalogue of Methods and Tools. *Technical Report 96*. European Environment Agency.
17. Förster, R. & Reusser, L. (1999). Toolbox. An Empa guidebook for environmental decision support concept and tools. St. Gallen: Empa.
18. Freeman, Harry M. (1998). *Manual de Prevención de la contaminación*. México, D.F.: McGraw-Hill.
19. Fresner, Johannes, Schnitzer, Hans, Gwehenberger, Planasch, Mikko, Brunner, Christoph, Taferner, Karin & Mair, Josef. Practical experiences with the implementation of the Concept of Zero Emissions in the Surface Treatment Industry in Austria (2006). Article en Press. *Journal of Cleaner Production*, pp. 1-12.
20. Fullana, Pere & Puig, Rita (1997). Análisis de Ciclo de Vida. *Cuadernos de Medio Ambiente*. Barcelona: Rubes Editorial, S.L.
21. Garner, Andy (1995). Industrial Ecology: An Introduction. Pollution Prevention and Industrial Ecology. National Pollution Prevention Center for Higher Education. University of Michigan, pp. 3-5; 31-32.

22. Giljum, Stefan (2004). Materials Flows, and Economic Development in the South. The Example of Chile. *Journal of Industrial Ecology*, vol. 8, No. 1-2. pp. 244-246.
23. Giudice, Fabio, La Rosa, Guido & Risitano, Antonino (2006). Product Design for the Environment. A Life Cycle Approach. Boca Raton, FL. USA: Taylor & Francis Group.
24. Glavic, Peter & Lukman, Rebeka (2007). Review of Sustainability terms and their definitions. *Journal of Cleaner Production*, vol. 15, No. 18. pp. 1875-1885.
25. Graedel, T.E. & Allenby, B.R. Allenby (1995). *Industrial ecology*. New Jersey: Prentice Hall.
26. Guinée, Jeroen B. et al. (2002). *Handbook on Life Cycle Assessment-Operational Guide to the ISO Standards*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
27. Gutowski, Timothy G. (2003). *Teaching Environmentally Benign Manufacturing*. Paper Imece 2003-42326. Proceedings of 2003 Asme International Mechanical Engineering Congress & Exposition (Imece 03).
28. Hamner, Burton (1996). What is the Relationship Between Cleaner Production, Pollution Prevention, Waste Minimization and ISO 14000? (1996). Taipei: The 1<sup>st</sup> Asian Conference on Cleaner Production in the Chemical Industry.
29. Heijuns, Reinout, De Koning, Arjan, Suh, Sangwon & Huppes, Gjal (2006). Toward an Information Tool for Integrated Product Policy. *Journal of Industrial Ecology*, vol. 10 No. 3. pp. 148-149.
30. Herrera, Carlos Manuel (2005). Evaluación de Impacto Ambiental. Material de clase. Especialización en Gestión Integrada QHSE. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
31. Hoekstra, A.Y. (2007). *Human Appropriation of Natural Capital: Comparing Ecological Footprint and Water Footprint Analysis*. Unesco-IHE, Institute for Water Education.
32. Icontec (2008). Guía para tratar temas ambientales en normas de producto. Proyecto de Norma internacional, p. 6.
33. Icontec (2005). Normas y documentos de apoyo para la implementación, mantenimiento y mejora de los sistemas de gestión ambiental.
34. Icontec. NTC-ISO 14040. Gestión ambiental. análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia.
35. Icontec, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2008). Sello Ambiental Colombiano (folleto).
36. Icontec. NTC-ISO 14044. Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Requisitos y directrices. Requisitos del ciclo de vida.
37. Icontec. GTC-ISO/TR 14049. Gestión ambiental. Evaluación del ciclo de vida. Ejemplos de aplicación de la norma ISO 14041 para la definición del objetivo y el alcance y para el análisis del inventario.
38. Iniciativa Gemi. 10 años: Historia breve de la Iniciativa Gemi.
39. ISO/TC 207/SC5/TG Eco-efficiency (2008). New work item proposal Eco-efficiency assessment. Principles and requirements. International Organization for Standardization (ISO).
40. ISO/TC 207/SC7/N017 (2008). Carbon Footprint Guidance Document. Position Paper-Technical Information. International Organization for Standardization (ISO).
41. ISO/TC 207/WG8 (2008). Pre-working Draft. Environmental Management. Material Flow Cost Accounting-General Principles and Framework. International Organization for Standardization (ISO).
42. ISO/TC 207/SC7/N017 (2008). Carbon Footprint Guidance Document. Position Paper-Technical Information. International Organization for Standardization (ISO).
43. ISO/TC 207/WG8 (2008). Pre-working Draft. Environmental Management. Material Flow Cost Accounting. General Principles and Framework. International Organization for Standardization (ISO).
44. ISO. Environmental management. Life Cycle Impact Assessment. Examples of Application of ISO 14042.
45. ISO/TC 207/SC5/TG Eco-efficiency (2008). New work item proposal Eco-efficiency assessment. Principles and Requirements. International Organization for Standardization (ISO).
46. ISO. Environmental Management. Life Cycle Assessment. Data documentation format.
47. JISC/Japan (2007). Material Flow Cost Accounting (MFCA).
48. Manahan, Stanley E. (2007). *Environmental Science and Technology. A Sustainable Approach to Green Science and Technology*. 2nd. ed. Boca Raton, FL. USA: Taylor & Francis Group.
49. Ministry of Economy, Trade and Industry (Japan) (2002). Environmental Management Accounting (EMA) Workbook.
50. Moberg, Asa (1999). Environmental Systems Analysis Tools. Differences and similarities. Master Degree Thesis in Natural Resources Management. Department of Systems Ecology. Stockholm University. pp. 5-46.
51. Pollution Prevention (P2). <http://epa.gov/p2/pubs/p2policy/definitions.htm>.2006.
52. Sachs, Jeffrey (2008). *Economía para un planeta abarrotado*. Barcelona: Debate, Random House Mondadori S.A.
53. Saur, Honrad et al. (2003). Draft Final Report of the LCM Definition Study. Unep/Setac Life Cycle Initiative.
54. Schaltegger, Stefan & Burritt, Roger (2000). Contemporary Environmental Accounting. Issues, Concepts and Practice. Sheffield: Greeleaf Publishing Limited.
55. Sonnemann, Guido, Castells, Francesc & Schuhmacher, Marta (2004). *Integrated Life-Cycle and Risk Assessment for Industrial Processes*. Florida, USA: Lewis Publishers.
56. Udo de Haes et al. (2000). Full Mode and Attribution Mode in Environmental Analysis. *Journal of Cleaner Production*, vol. 4, No. 1. pp. 45-48.
57. Unep/Unido (1991). Audit and Reduction. Manual for Industrial Emissions and Wastes. *Technical Report*, series No. 7.
58. Unep (2001). *Environmental Management Accounting Procedures and Principles*. Nueva York.
59. Van Berkel, René (2001). Cleaner Production Perspectives 1: CP and Industrial Development. *Unep Industry & Environment*, vol. 24, No. 1-2. January-June 2001. pp. 28-32.
60. Van Hoof, Bart, Monroy, Néstor & Saer, Alex (2008). *Producción más limpia. Paradigma de gestión ambiental*. Bogotá: Universidad de los Andes-Alfaomega.
61. Van Oers, Laurant, Kleijn, René & van der Voet, Ester (2002). Dematerialisation for Urban Waste Reduction: Effectiveness and side-effects. CML\_SSP Working Paper 02.001. Centre of Environmental Science (CML). Leiden University.
62. Van Weenen, Hans (1997). Sustainable Product Development: opportunities for developing countries. *Unep Industry & Environment*, vol. 20, No. 1-2. January-June Double Issue. pp. 14-18.
63. Velazco, Nubia, Ramos, Juan Pablo & van Hoof, Bart (comp.) (2000). Herramientas de Producción más Limpia. Curso Introducción a la Producción más Limpia (PML). Unidad de Aprendizaje 5. Universidad de los Andes.
64. Verghese, Karli & Hes, Dominique (2007). Qualitative and Quantitative Tool Development to support environmentally Responsible Decisions. *Journal of Cleaner Production*, vol. 15, No.s 8-9, pp. 814-818.
65. Von Geibler, Justus, Ritthoff, Michael & Kuhndt, Michael (2003). The Environmental Impacts of Mobile Impacts. A case study with HP. Final Report. Wuppertal Institute, pp. 6-9.
66. Willums, Jan-Olaf & Golüke, Ulrich (1995). Ideas Hechas Realidad. Desarrollo Empresarial Sostenible. Oslo: Cámara de Comercio Internacional-ad Notam Gyldental.
67. Wrisberg, Nicoline & Udo de Haes, Helias (eds.) (2002). Analytical Tools for Environmental Design and Management

in Systems Perspectiva. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

69. Yuan, Zengwei, Bi Yun & Moriguichi, Yuichi (2006). The Circular Economy-A New Development Strategy in China. *Journal of Industrial Ecology*, vol. 10, No. 1-2, pp. 4-5.

## REFERENCIAS

1. Son aquellas personas naturales o jurídicas que pueden tener un interés o versen afectadas por el desempeño ambiental de una organización
2. El informe de la Comisión Brundtland de 1987 define el desarrollo sostenible como "la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades"
3. También suele denominarseles *instrumentos o herramientas de gestión ambiental*.
4. El marco de referencia de la gestión del ciclo de vida se refiere a la gestión del desempeño de todo el ciclo de vida de bienes y servicios con el fin de promover una producción y consumo más sostenible (UNEP/SETAC Life Cycle Initiative). UNEP=United Nations Environment Programme; SETAC=Society of Ecotoxicology Assessment and Chemistry.
5. Por ejemplo, la clasificación se hace dependiendo qué tanto énfasis hace el método con respecto a una o varias de las tres dimensiones del desarrollo sostenible explicadas anteriormente.
6. Este sería el concepto más amplio, los demás conceptos son como subconjuntos de ese gran concepto que aborda el problema básico que los otros conceptos intentar abordar.
7. Es un concepto muy distinto del empleado en la comercialización de un producto y que se refiere al tiempo que dura este en el mercado y las diferentes fases que atraviesa (lanzamiento o introducción, crecimiento, madurez y declive).
8. El término "consumidor" no cubre solamente el sector doméstico (personas y hogares), sino que también el gobierno y los negocios quienes tienen sus propios patrones de consumo y son importantes en términos de que pueden en algún momento cambiar sus actitudes y demandar entonces productos o servicios ambientalmente mejores.
9. Suele denominarse también este enfoque como "desde la cuna a la tumba".
10. Estos conceptos fueron desarrollados originalmente en el Instituto Wuppertal de Alemania.
11. El Consejo Empresarial Colombiano para el Desarrollo Sostenible que es el capítulo colombiano del Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible.
12. N304-NWIP ISO/TC 207/SC5 Eco-efficiency Evaluation-Principles and Requirements. 2008.
13. Encargado al interior de la ISO de desarrollar la serie ISO 14000 sobre gestión ambiental.
14. Aunque no con mucha frecuencia también suele denominarse simbiosis industrial.
15. En inglés Pollution Prevention y suele referirse este concepto como PP2.
16. Las normas se pueden adquirir en el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).
17. Si bien esta herramienta tuvo su origen principalmente en Estados Unidos es en Japón donde más se ha venido mejorando el método y su aplicación en la industria.
18. Pre-working Draft- Material Flow Cost Accounting-Principles and Framework- ISO/TC 207/WG8. 2008
19. Output se refiere al producto que sale de una organización (en el método AAES incluye los residuos y emisiones) e Input son los recursos o factores necesarios para fabricar ese bien
20. Una externalidad existe cuando al producirse o utilizarse un bien, se afecta directamente a agentes económicas y per-

sonas que no participaron de manera directa en su producción y comercialización, y cuando dichos efectos no se incorporan completamente en los precios que el mercado asigna a esos bienes. Por ejemplo, los impactos ambientales y la contaminación derivados de la producción de un bien y que afecta la salud de los ciudadanos no se reflejan en los costos del fabricante y los termina asumiendo el sistema de seguridad social que cada país o región tenga establecido.

21. Japón hoy es quizás el país donde más se ha popularizado este tipo de método.
22. El alcance podría ser también una región o nación para la elaboración de estadísticas regionales o nacionales.
23. Es un término que se emplea en la contabilidad financiera convencional relativa a las metodologías usadas para calcular todos los costos de un proceso, producto o línea de producción con el fin principal de hacer un control de costos y establecimiento de precios.
24. Se llaman así porque es común que las empresas los asignen a los gastos generales en vez de a su origen (proceso de fabricación o producto).
25. Se ocasionan por incumplimiento de las regulaciones ambientales o litigios con la comunidad u otras partes interesadas que reclaman afectación de su salud o al medio ambiente por la contaminación que genera una compañía.
26. Es importante hacer claridad que los impactos incluyen no solo lo que demanda el hombre sino los cambios que se van manifestando en el medio ambiente como consecuencia de cambios e innovaciones en la tecnología y la administración pública o privada de los recursos, cambios en el uso del suelo y los daños acumulados por impactos del pasado.
27. Los estudios indican que la demanda humana ha excedido con creces la capacidad de regeneración de la biosfera desde los años ochenta.
28. Más específicamente en el subcomité SC 7 (Greenhouse Gas Management and Related Activities)
29. La evidencia es información cualitativa o cuantitativa que es verificable, por ejemplo informes de pruebas de laboratorio, formatos diligenciados, resultados de entrevistas, inspecciones en planta y hechos observados, etc.
30. Corresponde al conjunto de requerimientos, prácticas, procedimientos o políticas que sirven de referencia para comparar las evidencias recogidas, un ejemplo de criterio de la auditoría podría ser la norma ISO 14001.
31. La declaración de si se cumple o no un requisito, política o procedimiento al comparar la evidencia con los criterios de la auditoría.
32. Se refiere a quienes se van entrevistar, duración de las entrevistas, temas a tratar y áreas a inspeccionar, horario y fechas, etc.
33. Directrices para la evaluación del desempeño ambiental
34. ISO adelanta actualmente el desarrollo de un estándar sobre eco-diseño, como herramienta de apoyo a ISO 14001 y específicamente para mejorar los aspectos ambientales de los productos desde la perspectiva del diseño. (ISO/WD/ 14006: Environmental Management Systems-Guide on Eco-design-ISO/TC 207/SC1/W64 N002. 2008.).
35. No sobra advertir que las directrices GRI aunque son extensas y apoyan la necesidad de normalizar el contenido de un informe de sostenibilidad, no necesariamente requiere que la empresa cumpla con la totalidad de temas que se contemplan en estas guías.
36. Entre otras empresas, están Dow Chemical, Colgate Palmolive, Coca Cola Co., Jonson & Jonson y Procter and Gamble Company.
37. OCDE=Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico; UE= Unión Europea.

ECONOMÍA

# Teoría del capital humano y concepto de inversión en el Sistema de Cuentas Nacionales de Colombia de 1968 y 1993

NOEL JOSÉ CUENCA JIMÉNEZ

Economista, investigador de la Facultad de Economía de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garvito.

FERNANDO CHAVARRO MIRANDA

Economista, profesor de la Facultad de Economía de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garvito.

Artículo recibido: 9/06/2008  
Evaluación par interno: 15/10/2008  
Aprobado: 17/10/2008

## Resumen

En este artículo se intenta redefinir la inversión en el Sistema de Cuentas Nacionales de Colombia (SCN), con base en el análisis del papel del capital humano como un componente de inversión intangible que aumenta las posibilidades productivas futuras de una economía.

A partir de la definición y el examen de la teoría del capital humano, su relación con el crecimiento económico y el mercado laboral, se advierte cómo en el marco general de la ciencia económica, el capital humano se acepta ampliamente; sin embargo, el paso correspondiente a la instrumentalización del concepto por medio de la medición en el SCN no se ha logrado aún. Esto quizás esté referenciado con la dificultad de la definición inacabada del capital y, por tanto, de la inversión.

Es evidente que el trabajo de redefinición pasa por la aceptación de la investigación empírica y teórica, con una amplia definición de la inversión que debe incluir la formación de capital intangible (capital humano, aprendizaje, R&D, etc.), al lado del capital físico. El SCN actual sigue considerando que la única forma de inversión la constituye el capital físico, olvidándose del avance teórico de medio siglo, alcanzado por la teoría del capital humano.

**Palabras claves:** cuentas nacionales, inversión, capital humano, desarrollo económico.

## Abstract

This article attempts a redefinition of the investment in the System of National Bills (SCN) of Colombia, starting from the analysis of the paper of the human capital as a component of intangible investment that increases the future productive possibilities of an economy.

Starting from the definition and the exam of the theory of the human capital, its relationship with the economic growth and the labor market, is as the general mark of the economic science, the human capital is accepted thoroughly, however the step corresponding to the instrumentation of the concept through the mensuration in the SCN has not even been achieved. This maybe this indexed with the difficulty of the unfinished definition of the capital one and therefore of the investment.

It is evident that the redefinition work goes by the acceptance of the empiric and theoretical investigation, with a wide definition of the investment that should include the formation of intangible capital (human capital, learning, R&D, etc.), beside the physical capital. The current SCN continues considering that the only investment form constitutes it the physical capital, forgetting the theoretical advance for near half century, reached by the theory of the human capital.

**Keywords:** count national, investment, human capital, economic development.

## INTRODUCCIÓN

En 1960, Theodore Schultz anunció el nacimiento de la teoría del capital humano. Dos años más tarde, el *Journal of Political Economy*, dedicó su suplemento de octubre a la inversión en seres humanos, que contenía el artículo pionero de Gary Becker, "Human capital", el cual ha sido el foco del tema<sup>1</sup>.

Desde entonces, la teoría ha alcanzado una gran aceptación dentro de la ciencia económica y la academia, lo que se puede ver a partir de los trabajos publicados en todo el mundo sobre la materia.

No obstante la amplia aceptación del concepto, éste no ha conseguido instrumentalizarse a partir de la medición. Es así como en la mayor parte del mundo no se ha logrado algo similar, y por tanto los sistemas de contabilidad nacional, siguen considerando exclusivamente como inversión la formación de capital físico. Los diversos componentes de formación de capital humano; son elementos de consumo, ya sea de los hogares o de las administraciones públicas.

Los casos más patéticos son los servicios colectivos de educación y la salud que ofrece el Estado. Éstos, por convención, continúan siendo componentes del consumo final de las administraciones públicas. Por otra parte, el esfuerzo de los hogares en la formación del capital humano sigue considerándose como consumo, y de la misma manera la investigación y el desarrollo (R&D) se tienen por elementos del consumo intermedio<sup>2</sup>.

El capital humano trasciende la misma naturaleza de los objetos y los cuerpos. Esencialmente, se vincula a la existencia del ser humano en el sistema capitalista, y sus interrelaciones con la actividad productiva y su propia formación. En principio, se ve al capital humano desde el campo neoclásico (Becker, 1964; Schultz, 1963) como un factor productivo más en el proceso de producción; otros creen, empero, que este factor trasciende la visión simplista de productor de bienes y servicios, en un sistema de producción ampliado hacia la formación integral humana<sup>3</sup>.

Este artículo se compone de una primera parte en la que se evalúa el estatus del capital humano en la teoría económica; una segunda parte en que se analiza el tratamiento del capital humano en los sistemas de cuentas nacionales, y una tercera parte en la cual se realiza un ejercicio empírico; la parte final se dedica a las conclusiones.

## LA TEORÍA

### El capital humano

El concepto de capital humano no es nuevo en la investigación económica. Desde los autores clásicos (Smith, 1776) se reconocía el valor que tenía para el proceso de producción la existencia de una fuerza de trabajo educada, lo cual redundaba necesariamente en una mayor eficiencia en el puesto de trabajo<sup>3</sup>. El problema de la homogeneización de la fuerza de trabajo en la formación del valor no sólo ocupa un lugar destacado en la teoría clásica, sino en la literatura posterior de la transformación de valores a precios. La no homogeneidad del trabajo era un escollo en este proceso<sup>4</sup>.

La irrupción de la teoría del capital humano implica el reconocimiento de un tipo particular de bienes intangibles que influyen notablemente en la actividad económica: información, conocimientos y habilidades para el desarrollo de procesos y productos (Cuevas, 1996); de igual manera, la evidencia relacionada con una mayor preponderancia de las actividades de producción de activos intangibles, en contraposición con las inversiones en capital tangible, así como la aparición de una legislación tendiente al aseguramiento de derechos sobre descubrimientos, licencias y patentes que garantizan la exclusividad en el uso del conocimiento y la información.

En el contexto de la teoría neoclásica son importantes los trabajos de Schultz (1963) y Becker (1964), quienes introducen el concepto del capital humano en el marco de la teoría económica. Para Schultz (1964), el capital humano definido como la dotación de conocimientos, habilidades y destrezas por parte de los individuos, se forma especialmente mediante las inversiones en educación, salud, migración y movilidad de la fuerza de trabajo. Este autor hace un claro énfasis en demarcar el concepto de capital humano como un componente de inversión y no de consumo.

En esta forma el capital humano, como factor productivo, mantiene profundos nexos con la formación de la riqueza de una nación, y la exclusividad del capital físico como explicación del crecimiento y la formación de la riqueza debe reevaluarse en el marco de la teoría económica.

La inversión en capital humano podría conducir a tasas de retorno iguales o mayores que la inversión en capital físico, por lo que puede ser la fuente más importante del crecimiento económico (Kiker, 1966).

Según la definición tradicional del capital, éste se entiende como “todos los bienes producidos para uso en procesos productivos futuros”; así, los activos de capital que permiten un flujo de beneficios de sus usos en la producción envuelven necesariamente la versión estándar del capital tangible, representado en maquinaria, equipos, plantas y construcciones, otras construcciones y variación de existencias.

No obstante, la futura producción puede ser no sólo por medio de las adicciones netas del *stock* convencional de bienes de capital, sino también con inversiones en educación, entrenamiento en el trabajo (*on-the-job-training*), migración humana, adquisición de conocimiento, mejoras en salud y estándares de vida, y muchos intangibles que afectan la productividad laboral, reconociendo su omisión en el proceso de producción.

Las dificultades de medición y aceptación del capital humano se vinculan a:

- *La concepción de los factores tradicionales.* La tierra, el trabajo y el capital se han adoptado de modo convencional. Así, el trabajo se debe considerar homogéneo y libre de cualquier concepto de capital.
- *La dificultad de separación.* La existencia de dificultades en la separación de las remuneraciones relacionadas con el capital humano y el trabajo puro.
- *Problemas de medición.* Los problemas relacionados con sus mediciones referentes a la clasificación como bienes de consumo o como bienes de inversión. Así mismo, la inversión en seres humanos se juzga menos importante que la inversión en planta física y equipo.
- *Restricciones tradicionales del concepto de capital.* En la teoría convencional se desarrolla un concepto exclusivamente para el capital, restringiendo el concepto a los ítems que son mercantes.
- *Restricciones éticas.* La crítica a la noción de darle un valor monetario a la vida humana impone restricciones a su uso.

Las anteriores limitaciones han impedido el uso generalizado del capital humano, no sólo en el cálculo de los agregados sociales sino también en su instrumentalización en el marco de la teoría económica. En tal sentido, Schultz (1961) afirma: “El conocimiento y las destrezas son una gran parte de la producción invertida, y combinados con otra inversión humana, cuentan en

forma predominante para la superioridad productiva de los países técnicamente avanzados”.

Con anterioridad, otros autores habían considerado la importancia de involucrar el capital humano: Kuznets (1941) y Abramovitz (1951) han subrayado la necesidad de ampliar el concepto de formación de capital para incluir la inversión en salud, educación, entrenamiento de la población por sí misma, esto es, inversión en seres humanos (Kiker, p. 5).

### Capital humano y crecimiento económico

A continuación se especifican los modelos de crecimiento económico y el papel que en éstos ha desempeñado el capital humano.

#### Modelo neoclásico Solow-Swan

La mayor parte de las proposiciones básicas de la teoría del crecimiento, necesarias para mantener una tasa de crecimiento del producto per cápita a largo plazo, implicaban un continuo avance del conocimiento tecnológico mediante la utilización de nuevos bienes, mercados y procesos. En el modelo neoclásico desarrollado por Solow (1956) y Swan (1956) se muestra que la inexistencia del cambio técnico, con presencia de rendimientos decrecientes, conduciría eventualmente a un cese del crecimiento económico.

$$Y = F(K). \quad (1)$$

La propiedad fundamental de la función de producción agregada es la presencia de rendimientos decrecientes en la acumulación de capital. Al imponer las condiciones de Inada:

$$\begin{aligned} \lim_{K \rightarrow \infty} F'(K) &= 0 \\ \lim_{K \rightarrow 0} F'(K) &= \infty \end{aligned} \quad (2)$$

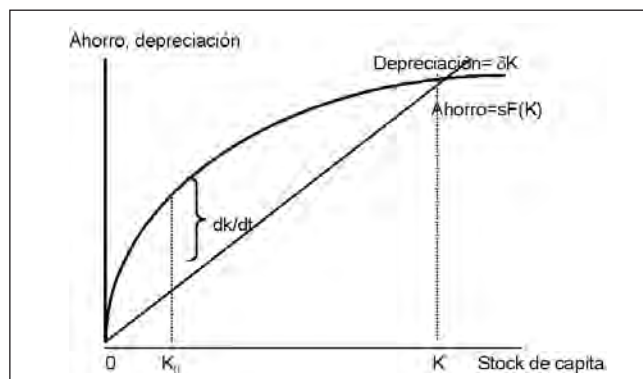
La tasa neta en que se incrementa el *stock* de capital (i.e. inversión neta) es:

$$K = sF(K) - K \quad (3)$$

La ecuación diferencial (3) es la ecuación fundamental del modelo de crecimiento neoclásico de la teoría del crecimiento.



A continuación se muestra la trayectoria de la acumulación de capital, la depreciación y la tasa de ahorro. El flujo de depreciación depende del *stock* de capital. La tasa de ahorro muestra cómo crece el flujo de nueva inversión, dependiendo de dicho *stock*. El producto marginal  $F'(K)$  es positivo, pero disminuye cuando  $K$  se incrementa, por consiguiente el plan de ahorro es positivo pero reduce su pendiente.



### Modelo de Solow ampliado

En la década de los noventa se presenta una reacción por parte de los economistas en defensa del modelo neoclásico de crecimiento de Solow. Esta reacción aparece con gran fuerza en el trabajo de Romer, Mankiw y Weil (1996), cuyo intento consiste en considerar una definición amplia del capital, en el que se incluye el capital humano como factor productivo.

La transformación realizada por el trabajo de Romer, Mankiw y Weil (1992) sobre el modelo neoclásico es la siguiente:

$$Y(t) = K(t)^\alpha H(t)^\beta (A(t)L(t))^{1-\alpha-\beta} \tag{4}$$

Donde  $H$  es el *stock* de capital humano,  $S_k$  es la fracción del ingreso invertida en capital físico y  $S_h$  es la fracción invertida en capital humano. Así se concibe una versión amplia del capital, que incluye la existencia de capital humano. No obstante, el papel asumido por el capital humano en la explicación del crecimiento se reduce a la forma de un *input* ordinario en la función de producción.

### Teoría del crecimiento endógeno

La teoría del crecimiento endógeno surge a partir de la insatisfacción con el modelo neoclásico Solow-Swan (1956), por su incapacidad de dar cuenta de los hechos del crecimiento; esencialmente, la definición de los motores del crecimiento que quedaban relegados al término de error de Solow. Con todo, Solow, Denisson y Griliches enfatizaron en la importancia del cambio técnico, el cual es exógeno al modelo, pero esta característica del cambio exógeno no permitía la explicación de la competencia monopolística, la innovación tecnológica y las inversiones en R&D. La existencia de rendimientos decrecientes para el capital; conduciría irremediablemente a un crecimiento cero a largo plazo, lo cual no es consistente con la mayoría de los países industrializados y el dinámico crecimiento de los NICs asiáticos.

El teorema de Euler establece que con rendimientos crecientes no todos los factores se pueden pagar por su producto marginal, al igual que la teoría walrasiana del equilibrio competitivo. Lo anterior implica la improcedencia del teorema de Euler en un modelo con rendimientos crecientes de los factores (Howitt, 1998).

### Modelo AK

La versión más sencilla de un modelo de crecimiento endógeno es el modelo AK. Al introducir el capital humano, se encuentra:

$$Y = BK^\beta H^{1-\beta} \tag{5}$$

Tanto el capital físico como el capital humano crecen a la siguiente tasa:

$$K + H = BK^\beta H^{1-\beta} - C - \delta_K K - \delta_H H \tag{6}$$

Suponiendo que las tasas de depreciación son idénticas, se tiene:

$$\beta Y = (1 - \beta) Y/H \tag{7}$$

$$H = K(1 - \beta) / \beta$$

Obteniendo finalmente la forma sencilla del modelo AK:

$$Y = AK \tag{8}$$

Romer (1992) considera que el atributo más importante de la actividad económica humana es el alcance que tiene nuestra capacidad para trasladar reglas internas y datos, de modo que otros la puedan almacenar, reproducir, transmitir y usar. Según él, los hechos económicos están mediados por las ideas, las cuales pueden considerarse una clase especial de bienes económicos.

De acuerdo con el mismo Romer (1992), la discusión se presenta en los modelos de crecimiento basados en objeto (*object gap*) y en ideas (*idea gap*). Lo anterior se ejemplifica en la consideración del crecimiento sustentado en los factores tradicionales y el crecimiento fundamentado en el conocimiento, la información y la inversión en R&D.

De conformidad con lo anterior, la función de producción está dada por:

$$Y = F(K, L, H; A) \quad (9)$$

Donde:

Y: producto nacional.

K: capital físico.

L: trabajo no calificado.

H: capital humano o trabajo calificado.

Romer se preocupa por no asociar el valor de A con los demás *inputs*<sup>7</sup>. En su modelo, la política gubernamental debe estar vinculada al acceso a las ideas en un marco de desarrollo entre el país y el resto del mundo (*idea gap*), y no de la manera tradicional a través de la forma de acumulación y ahorro (*object gap*).

Así mismo, Romer (1994b)<sup>7</sup> hace hincapié en los supuestos de la nueva teoría, en contravía de la visión neoclásica:

*Hecho 1.* Hay varias firmas en una economía de mercado.

*Hecho 2.* La información que se desprende de los descubrimientos la pueden usar varios actores económicos simultáneamente. Esto significa que la *información es no rival*.

*Hecho 3.* Es posible reproducir las actividades físicas. Si se tiene la ecuación de producto:

$$Y = A F(K, H, L)$$

Si se doblan los insumos rivales (K, H, L), el producto se dobla. No ocurre lo mismo con A puesto que es *no rival*. Al suponer la homogeneidad de grado 1, explota

el teorema de Euler, en el sentido de que las remuneraciones se hacen únicamente a los factores capital físico y trabajo, quedando A sin remunerar.

*Hecho 4.* El avance tecnológico proviene de cosas que hace la gente. Se sostiene que la tasa de crecimiento agregado es endógena, no responde a móviles fuera del control de la gente.

*Hecho 5.* Varias firmas e individuos tienen poder de mercado y ganancias monopolísticas de sus descubrimientos. La información pegada a los descubrimientos es parcialmente excluible. De este modo, la realidad muestra que los actores económicos ejercen cierto control sobre la información generada por la mayoría de los descubrimientos, rasgo que impide su estatus de bien público puro.

La exogenidad de A en el modelo neoclásico se erigió en obstáculo para la captura de los hechos 4 y 5, pero puede involucrar los hechos 1, 2 y 3.

#### INVERSIÓN Y CAPITAL HUMANO EN EL SCN

Tradicionalmente, la inversión en el Sistema de Cuentas Nacionales se concibe como la formación de capital físico. Existe un desconocimiento absoluto de la medición de las inversiones en capital intangible, mediante la formación de capital humano, la inversión en R&D, la innovación y el aprendizaje.

La teoría del capital humano presume que los individuos invierten en su propia educación, lo cual podría involucrar altos costos y, a corto plazo, pérdidas de réditos por el monto de ingresos invertidos. Al igual que otros activos, la educación individual y el entrenamiento reciben varios beneficios, representados en los salarios y demás componentes de remuneración al capital humano. Este último se considera un activo, similar en muchos aspectos a los activos físicos y financieros.

Mincer (1989) opina que el capital humano cumple un papel dual en los procesos de crecimiento económico al usarse como: a) un *stock* de destrezas —producidas por educación y entrenamiento—, esto es, factor de producción coordinado con el capital físico y con el trabajo no calificado en la producción del producto total; b) un *stock* de conocimiento, como una fuente de la innovación. Lo anterior contribuye a la formación del concepto de intangibilidad del capital.

Los actuales SCN siguen las propuestas seminales del sistema de cuentas sugerido para Estados Unidos por Kuznets (1941, 1948, 1952) y Richard Stone (1945), entre otros. Los elementos metodológicos que se conservan se refieren a lo siguiente:

- La definición de producción involucra aquellas actividades que sólo pueden considerarse como resultado del producto económico.
- La definición primaria de ingresos está relacionada con las medidas de la distribución y redistribución del ingreso.
- La definición del producto final e intermedio.
- La definición de inversión y consumo, como dos últimos usos y producto final.
- La aplicación apropiada de la valoración de la producción.

La primera definición de producto sólo involucra las actividades juzgadas como producción económica, reflejada en las ventas y transacciones del mercado. Este principio implica la exclusión de un gran número de productos no mercantiles, representado por una fracción importante de actividades de los hogares, servicios domésticos y trabajadores en su propio hogar (Eisner, 1988).

En el trabajo de Eisner (1988) para Estados Unidos se propone la inclusión no sólo del capital físico, sino también del capital intangible y el importe en capital humano, creado a través de la educación, entrenamiento y adquisición de conocimiento, y aumentos de salud de la población. La inversión intangible es una inversión que contribuye al futuro producto.

Los SCN excluyen esfuerzos de investigación y desarrollo en los negocios, tratados como productos intermedios, subsumidos en el producto final. Los gastos de investigación y desarrollo de las instituciones son un consumo, a consecuencia de la consolidación de las cuentas de los hogares y las entidades sin ánimo de lucro; a su vez, los gastos del gobierno en investigación son compras de bienes y servicios, y los gastos de investigación y desarrollo corriente son una inversión para el futuro producto.

## FORMACIÓN DEL CAPITAL FÍSICO

Al no considerar la inversión intangible, los SCN registran sólo la formación tangible de capital para la economía, la cual corresponde a los siguientes componentes:

- Inversión en construcción de viviendas nuevas.
- Infraestructura, construcciones y edificios.
- Maquinaria y equipo.
- Variación en existencias.

La formación de capital físico en la economía colombiana representa en promedio un 24% del PIB, donde el 8% son existencias. La inversión es el componente más dinámico del producto (figura 1).

### Cuenta de acumulación del SCN

**AHORRO BRUTO:** corresponde a las partidas de ahorro de cada uno de los sectores institucionales.

**TRANSFERENCIAS NETAS DE CAPITAL:** corresponde a las transacciones entre los sectores institucionales que afectan el estado de la inversión o la riqueza.

**FORMACIÓN BRUTA DE CAPITAL FIJO:** corresponde a la adquisición neta de bienes de capital, adiciones y mejoras que aumentan la productividad del capital ya existente en la economía.

**VARIACIÓN DE EXISTENCIAS:** se consideran aquí los cambios en el *stock* de existencias de bienes de las unidades productivas y el comercio, materias primas, bienes en proceso, terminados.

**COMPRAS NETAS DE ACTIVOS NO FÍSICOS:** inicialmente se puede considerar inversión en activos intangibles. Corresponden a esta partida los derechos de explotación de recursos naturales, patentes, derechos de autor, etc.

**Fuente:** Los autores, Magdalena Cortés, *Bases de contabilidad nacional*.

## LA FORMACIÓN DE CAPITAL INTANGIBLE

Las restricciones impuestas al sistema, al considerar sólo los productos mercantes objeto de la producción, eliminan los procesos de no mercado que incrementan la formación de capital tangible en la economía, en especial en los sectores institucionales de los hogares y el gobierno.

Como se discutió en el anterior informe, los gastos en educación, salud, inversión en investigación y desarrollo, la formación continua de la fuerza de trabajo, corresponden también a la formación de un activo intangible, el cual cumple funciones análogas e importantes en la producción.

El actual SCN (1993) amplía el concepto de inversión tradicional, al considerar algunos intangibles:

- Programas de computador.
- Diseño de *software*.
- Proyectos de exploración minera.

Respecto de la educación y la salud, cuando el gobierno es el productor de estos llamados bienes colectivos, al igual que los servicios de las amas de casa, al “no poseer” mercados propios se recurre a una solución convencional, cual es considerar que el gobierno es productor y consumidor de dichos bienes. La dificultad de valoración conduce, entre otros efectos, a subestimar el valor que representa para la sociedad la producción de los bienes colectivos producidos por el gobierno (Lora, 1997).

Una de las maneras tradicionales de acercarse a la formación del capital humano corresponde al concepto de enrolamiento en el sistema educativo, esto es, en educación primaria, secundaria y superior, donde generalmente se utiliza el total de matrículas para cada nivel. A continuación se hace una aproximación de la educación en Colombia para el período 1970-1996.

La educación y la salud se constituyen en bienes públicos impuros, en tanto que fácilmente se puede imponer la exclusividad en su uso. El Estado crea, mediante las inversiones en salud y educación, un tipo de capital humano genérico, complementado por los hogares y las empresas privadas con inversiones en la formación de sus trabajadores a través del entrenamiento en el trabajo. La formación de capital humano de carácter genérico

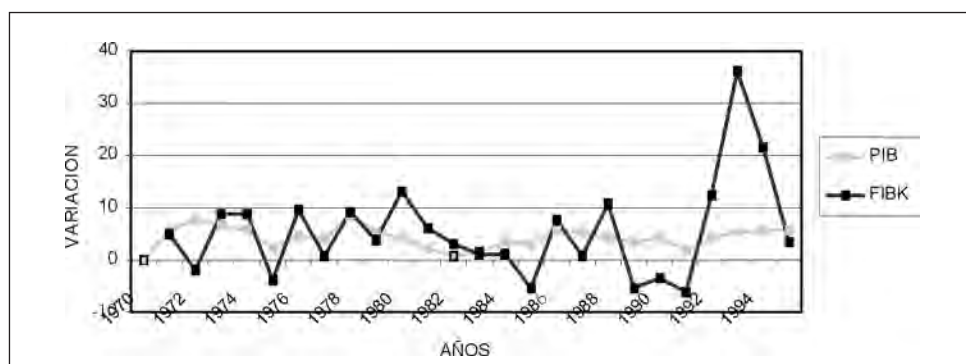
no sólo constituye un estímulo para la innovación empresarial, sino también una fuente inmensa de difusión de externalidades para toda la economía.

La separación de las actividades que constituyen exclusivamente consumo de las que constituyen una forma de inversión entraña necesariamente redefinir el papel de los hogares, no sólo como consumidores, sino también como productores, en especial en la formación del capital humano. En Colombia, un país pobre, los hogares invierten cerca del 15% de su presupuesto en inversiones en capital humano (figura 3). Igualmente, el gobierno es un productor de capital humano genérico por medio de la inversión en salud, educación y nutrición. La estimación de estos recursos se puede hacer a partir de los gastos destinados a inversión en la producción de salud y educación.

A juicio del SCN (1993), los actos realizados por el gobierno a nivel nacional, relacionados con servicios individuales como la salud y la enseñanza, tienen que tratarse como colectivos; por eso establece clasificaciones funcionales para los sectores institucionales:

- Clasificación del consumo individual por finalidades.
- Clasificación de las funciones del gobierno.
- Finalidades de las ISFLSH.
- Clasificación de los gastos de los productores por finalidades.
- Agregados para análisis particulares.

Las implicaciones del actual sistema se relacionan con las siguientes actividades:



Fuente: Los autores, datos del DNP.

**Figura 1.** Crecimiento e inversión (%).

### CUENTAS NACIONALES Y MEDICIÓN DEL CAPITAL HUMANO

1. La formación bruta de capital es demasiado restringida. La productividad está mediada por el "capital humano". Se identifican los gastos de enseñanza realizados por los hogares, el gobierno, las instituciones sin ánimo de lucro y los productores.
2. Los investigadores prefieren utilizar los gastos en investigación y desarrollo (I&D) como formación de capital, antes que como gastos de consumo; presentan los gastos de I&D de los productores y de las ISFLSH, pero los del gobierno no se encuentran separados por completo.
3. Los gastos en bienes de consumo durables de los bienes de consumo no durables. Éstos se consideran gastos en capital, antes que consumo corriente.
4. Crecimiento económico y medio ambiente. Gastos en reparación y prevención de daños en el medio ambiente. Control de la contaminación, sanidad.

Fuente: Clasificación funciones del gobierno, ONU (Serie M, No.70, Nueva York, 1980).

### EVIDENCIA EMPÍRICA

La formación de capital humano en el país ha sido trascendental, en especial a partir de los años cincuenta, para el crecimiento económico, el desarrollo y la distribución del ingreso. Los niveles de escolaridad de la fuerza de trabajo, referenciados en la Encuesta Nacional de Hogares (ENH), pasa de niveles de 3,4 años promedio de estudio en 1954-1970, a 4,8 en la década de los setenta y 6,8 en los años noventa.

El proceso de transición demográfica y los cambios estructurales de la economía colombiana aceleraron la formación de capital humano en el país. Lo anterior implica, de igual manera, un rezago marcado en los sectores rurales frente a los urbanos, especialmente a través de la dotación de capital humano y mejores

ingresos promedio de las poblaciones urbanas (figura 2). Los cambios anotados en la formación de capital humano configuran un motor para el crecimiento económico.

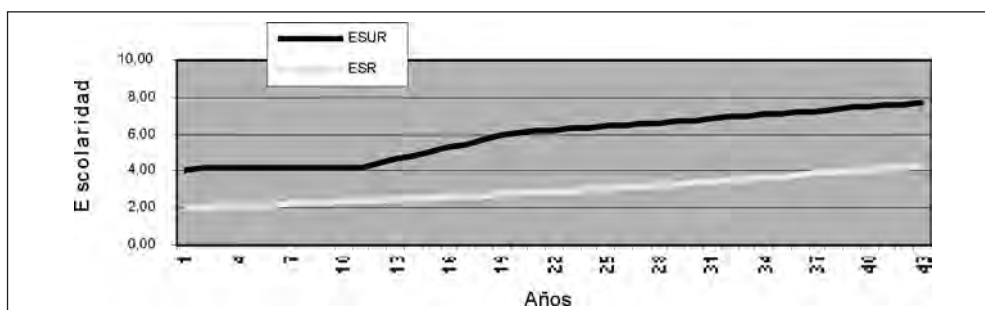
### CAPITAL HUMANO Y CRECIMIENTO ECONÓMICO

La evidencia empírica para Colombia ha mostrado un papel significativo del capital humano en relación con el crecimiento económico. El capital humano se mide como el porcentaje de enrolamiento escolar en educación primaria (PRIM) y educación secundaria (SEC), fundamentalmente.

Uribe (1993) desarrolla un trabajo sobre crecimiento económico, utilizando como *proxy* del capital humano la educación primaria y secundaria. De acuerdo con la visión de Romer sobre los orígenes de la teoría del crecimiento endógeno, los trabajos hechos para Colombia; no pretenden captar los hechos 4 y 5. Su versión es cercana al capital humano relacionado con la inversión en educación básica. Sin superar la visión neoclásica del crecimiento económico, enfatiza en el papel que debe desempeñar el país en una economía abierta: "Para Colombia, los resultados de este trabajo sugieren que la contribución de la educación al crecimiento futuro de la economía depende en gran medida de la capacidad del país para convertirse en un fuerte exportador"<sup>19</sup>.

Uribe (1995) sigue insistiendo en las bondades de su primer modelo. Las lecciones que deriva para Colombia tiene que ver con:

1. La necesidad de construir un sector exportador fuerte, competitivo, demandante de mano de obra calificada y que nos obligue a todos a subir por la escalera de la calidad.



Fuente: Los autores, datos del DNP.

Figura 2. Escolaridad rural y urbana.

2. El énfasis en la incapacidad del mercado como mecanismo que logre la competitividad. El Estado debe cumplir un papel clave en el mejoramiento de la calidad y la cantidad de inversiones en recursos humanos.
3. La generación de un ambiente económico y político atractivo para la inversión extranjera.
4. Es importante promover acciones económicas que sean complementarias entre sí, al lado de la necesaria selección con buen criterio las que sean sustitutivas (Uribe, 1993, p. 201).

Posada (1993) encuentra que las tasas de crecimiento del producto real y del capital humano son estacionarias a largo plazo. Observa que a finales de los años sesenta y la mitad de los setenta se presenta una caída tendencial del ritmo de expansión del producto global, precedida, igualmente, de una caída en la tasa de acumulación del capital humano.

Posada (1995) hace un ensayo con crecimiento económico, capital humano y ahorro (visión neoclásica). Considera que para Colombia es pertinente mirar un par de grupos de instituciones que influyen, unas sobre el ahorro, y otras en la eficiencia de la educación y el cambio técnico que eleva la productividad del trabajo y, por tanto, del capital humano.

Londoño (1992) muestra el papel fundamental representado por la acumulación del capital humano en el mejoramiento de la distribución del ingreso, esencialmente a partir de los años sesenta, donde se aprecia una notable mejora en la distribución del ingreso.

Si bien es cierto que la dotación de capital humano ha crecido significativamente en Colombia desde los años setenta, el crecimiento económico no ha registrado la misma dinámica. La caída significativa del crecimiento en los años ochenta y noventa obedece, de manera especial, a una orientación de la economía colombiana hacia los sectores minero y de servicios, con muy bajas interrelaciones con la formación del recurso humano calificado y en particular con la dotación de conocimiento.

En los últimos años, la economía colombiana ha venido perdiendo la dinámica del crecimiento alcanzada en las décadas pasadas. Luego de haber crecido a una tasa anual promedio de 4,6% entre 1991 y 1995, bajó a sólo 2,7% en 1996, y registró tasas cercanas a cero (0) y negativas para el final del milenio. Los

niveles de crecimiento de tasas cercanas al 5% son historia (tabla 1).

**Tabla 1**  
Tasas de crecimiento sectorial en Ceolombia

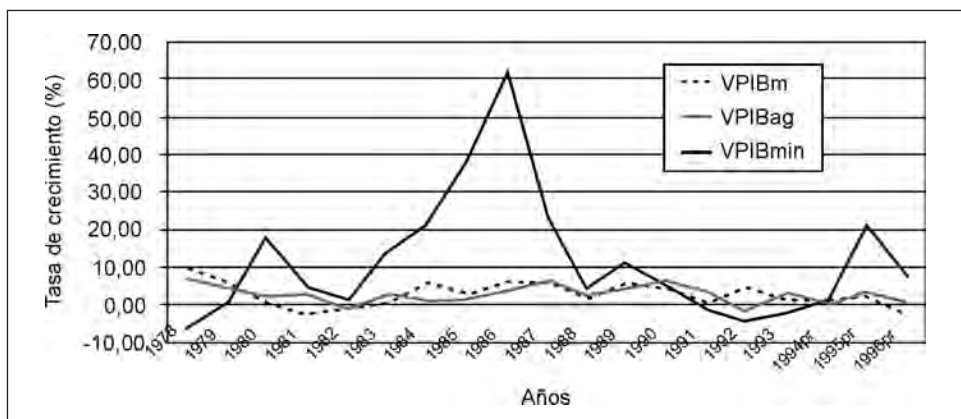
Sector	Periodos		
	1925-1945	1945-1978	1978-1996
Crecimiento			
Sector manufacturero	7,0	6,8	2,9
Sector agropecuario	2,5	3,0	2,9
Sector minero	7,5	1,8	11,9

Fuente: DNP. Cálculos de los autores.

Como se observa durante todo el período de estudio (figura 3), el PIB manufacturero y agropecuario presenta una baja variabilidad, mientras no sucede lo mismo con el sector minero. De hecho, durante el período 1978-1995 el PIB manufacturero crece en promedio 2,9%, mientras el sector agropecuario lo hace en 2,94% y el sector minero en 12% anual. Lo anterior contrasta con lo sucedido en el período denominado manufacturero (1945-1978), donde el crecimiento promedio anual es de 6,8, 3,0 y 1,8%. Esto es característico del sendero seguido por la economía colombiana y su orientación hacia ciertos sectores productivos como motores del crecimiento.

La economía colombiana se ha orientado en los últimos 25 años hacia los sectores minero y de servicios, lo que se refleja en las tasas de crecimiento total de la economía, así como en el descuido notable del sector manufacturero. Si bien el capital humano, ha alcanzado una dinámica importante, como lo evidencia Londoño (1968), esto no se refleja en la dinámica del sector manufacturero, el cual hace una mayor demanda de capital humano. Al contrario, existe un latente descuido de la formación en educación secundaria y universitaria, como se evidencia en las tasas de enrolamiento para Colombia en el período 1970-1995 (tabla 2).

La evidencia de la literatura empírica a nivel internacional muestra una correlación negativa entre el crecimiento a largo plazo y la orientación de las economías hacia el sector primario. La orientación de la economía colombiana hacia el sector primario en las últimas décadas, después del abandono de la política de industrialización sustitutiva, explica la baja dinámica del crecimiento económico y el poco poder explicativo de las inversiones en la formación del capital humano en éste<sup>8</sup>.



Fuente: Los autores. Datos del DNP.

Figura 3. Crecimiento económico sectorial: 1970-1995.

Esto tiene profundas repercusiones en los eslabonamientos existentes entre los sectores con mayor uso y dotación de conocimiento respecto de la formación y utilización del capital humano como motor del crecimiento económico a largo plazo<sup>9</sup>.

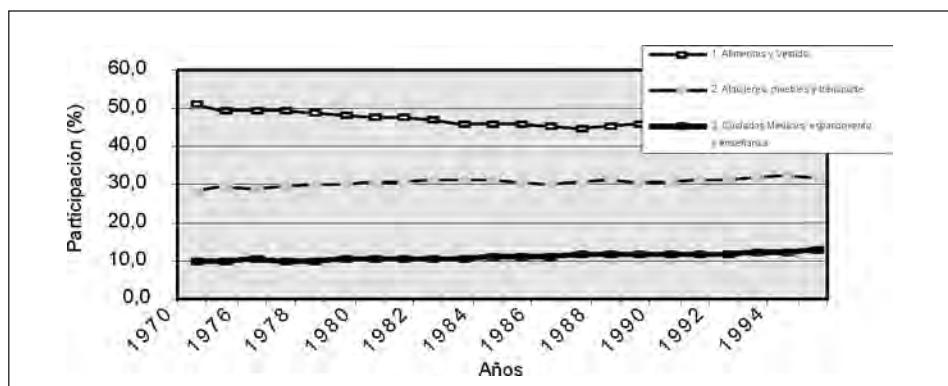
La primarización de la economía colombiana, y por consiguiente el abandono del sector manufacturero, no sólo implica un menor crecimiento económico en el futuro, sino también menores posibilidades para la formación del capital humano y un ambiente propicio para la profundización de la desigualdad, la pobreza y la guerra<sup>10</sup>.

No obstante, sin un cambio en el concepto el SCN de 1993 registra, por medio de la cuenta de hogares, la destinación del ingreso por tipo de producto que

éstos realizan. Convencionalmente, se ha considerado la actividad de los hogares en la formación del capital humano como consumo; sin embargo, para uso de los investigadores se recomienda que se desagregue de los demás ítems de las cuentas de consumo de los hogares.

Los hogares hacen continuamente inversiones en capital humano, visto a través de los diferentes componentes de éste:

- Inversión en salud.
- Inversión en educación.
- Crianza y cuidado de los niños.
- Educación no formal.
- Otros.



Fuente: Los autores. Datos del DNP.

Figura 4. Consumo final de los hogares.

La consideración presente en los SCN es que los hogares realizan sólo consumo visto a través de los diversos componentes del gasto. Según la teoría tradicional del capital humano, éste se forma en el sistema formal de educación, en el trabajo, etc. Pero tal clasificación es difusa en la desagregación de los componentes de consumo e inversión, estrictamente. Becker (1987) cree que efectivamente las familias invierten en capital humano: “Las familias invierten una no despreciable suma en la nutrición, protección, vestido y otras formas de capital humano de sus hijos sobrevivientes”.

Se requiere necesariamente una desagregación de la cuenta de hogares del SCN, con base en la discriminación de los componentes del capital humano cuyo tratamiento debe ser parte del capital intangible formado en la economía. En Colombia, la formación de capital humano en los hogares (cuenta de hogares) permanece en cerca de un 11% en promedio, para el período 1970-1995, con un leve aumento en la última década, pero esto no representa un monto significativo si se consideran las características estructurales de una economía subdesarrollada, donde la mayor parte de los ingresos de las familias se orientan a la adquisición de alimentos y compra de servicios, donde de igual manera los recursos del sector financiero se dirigen a financiar la formación del capital tradicional.

La formación del capital humano se refleja inicialmente por medio de las tasas de enrolamiento escolar (preescolar, primaria y secundaria). Dinapoulos y Thomson (1996) consideran que el uso de las *proxys* de capital humano a través de la educación básica subestima el monto global de la formación del capital intangible para toda la economía. Pese a las dificultades presentadas en la literatura sobre el capital humano, no se puede desconocer la importancia que posee la educación básica en la formación del capital intangible.

Así, las tasas de enrolamiento para los cuatro niveles de escolaridad pasan de 1,63% de crecimiento promedio anual en el período 1936-1945 a niveles de 6,24% en el lapso 1946-1978, con una significativa caída de 2,94% para el período 1978-1996 (tabla 2).

**Tabla 2**  
Tasas de crecimientos por niveles educativos

Nivel	1936-1945	1946-1978	1978-1996
Total	1,63	6,24	2,94
Preescolar	2,46	7,69	10,95
Primaria	1,53	5,42	1,07
Secundaria	2,76	10,46	5,28
Universitaria	8,96	11,90	5,15
PIB	3,41	5,08	4,17

Fuente: Icfes. Cálculos de los autores.

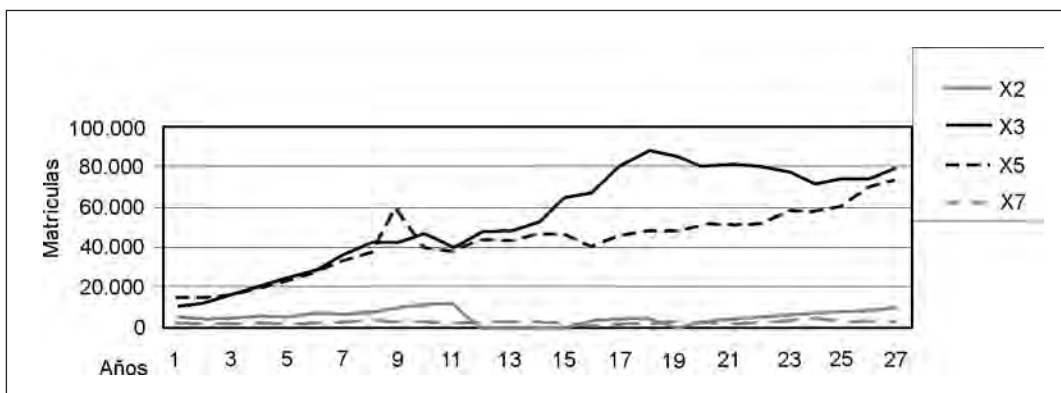
En la tabla 2 se aprecia una dramática caída del crecimiento en los niveles de primaria y secundaria, y un crecimiento significativo en los niveles de preescolar, especialmente. Lo anterior no se explica por cambios en la población, ni mucho menos por cumplimiento de la cobertura total, pues si bien se tienen coberturas cercanas al 100% en primaria, esto es sensiblemente bajo en los niveles secundario y universitario.

La manera común de ver la formación de capital humano, usada ampliamente por los economistas neoclásicos (Uribe, 1993), es mediante el enrolamiento en educación primaria y secundaria. A partir de los trabajos de Romer (1989) se considera que una medida cercana para captar el capital humano productivo y capital humano de investigación, formas dinámicas involucradas de modo directo en la producción, es la educación universitaria, propiamente la educación de posgrado<sup>11</sup>.

Se ha utilizado la educación universitaria para el período 1970-1996<sup>12</sup> como una forma de percibir la evolución del enrolamiento (matrículas) en educación superior, ya que ésta se considera *proxy* del capital humano. Las matrículas en los diferentes programas (tabla 1) han evolucionado de manera dispar.

En los programas de agronomía, veterinaria y afines se destacan crecimientos negativos para los subperíodos 1980-1990 y 1990-1996: al pasar de crecer 5% entre 1970 y 1980, decrecen en -0,3 y -0,6 para los subsiguientes subperíodos. Lo anterior indica el desplazamiento de la demanda por capital humano en la educación universitaria hacia otros programas (tabla 3, gráfico 5)<sup>13</sup>.





Fuente: Los autores; datos del ICFES, archivo historico..

Figura 5. Especialidades en bellas artes, educación, derecho, sociales y humanidades.

La caída en los niveles de demanda por programas relacionados con agropecuaria y afines, ciencias de la educación y humanidades, constituye la forma típica en que un país responde a los retos presentados por la perspectiva de una inserción internacional. En este sentido cobran mayor auge las carreras relacionadas con las ciencias básicas, al igual que las ciencias económicas (capital humano doméstico para el funcionamiento racional de la economía) y afines, ingeniería y matemáticas; así mismo, aumenta la demanda por cupos en ciencias sociales, derecho y ciencias políticas, considerados en la literatura empírica como el capital humano buscador de renta<sup>14</sup>.

Aunque se evidencia la mayor importancia de la demanda en educación universitaria de las ingenierías, ciencias naturales y exactas, fundamentos esenciales para la formación del capital humano orientado hacia

la producción y endogenización de las innovaciones y tecnologías para el desarrollo, no se debe desconocer por ello la importancia de las ciencias sociales, el derecho y las humanidades (tabla 6, figura 4)<sup>15</sup>.

La referencia a la educación universitaria como *praxy* del capital humano no es suficiente para la captura de la importancia del mismo en el crecimiento económico. Se hace necesario observar la importancia, si bien reciente, de la educación de posgrado (especialización, maestría y doctorado).

Según el SCN actual, el gasto en bienes colectivos (educación pública y salud) suministrados por el Estado forma parte del consumo final de éste. Los rubros correspondientes a la producción de bienes colectivos se describen como pago a los asalariados del gobierno. Lo práctico debería consistir en la definición de los rubros que son consumo intermedio, final o formación

Tabla 3  
Tasas de crecimiento de la demanda de capital humano

Programas	1970-1980	1980-1990	1990-1996
Agronomía, veterinaria y afines	5,0	-0,3	
Bellas artes	10,1	1,7	
Ciencias de la educación	15,8	7,8	
Ciencias de la salud	13,7	3,7	
Ciencias sociales, derecho y ciencias políticas	13,7	3,2	

6,2

de capital. Este tratamiento es convencional, en cuanto a que los bienes colectivos suministrados por el Estado no se consideran objeto de transacción mercantil.

**Tabla 4**  
Tasas de crecimiento en inversión física e intangible

AGREGADO	1970-1980	1980-1990	1990-1995
PIB	5,5	3,4	4,6
PIBp	2,1	1,4	2,0
FIBK	5,3	1,7	13,5
EDUCACIÓN	28,9	28,6	33,0
SALUD	29,6	31,0	56,6
GASTO SOCIAL	28,9	29,0	39,8

Fuente: Cálculo de los autores. Datos del Icfes (archivo histórico) y Dane.

A partir de la tabla 4 se puede observar que el gasto público en educación y en salud como porcentaje del PIB pasa de 4,3 en el subperíodo 1980-1990, a 5,9 en la primera mitad de la década de los noventa.

La importancia creciente de la inversión en educación y salud se constituye en el ambiente propicio para la formación del capital humano. Si bien éste tiene un papel crucial en la explicación del crecimiento, no puede estar separado del capital físico, ya que este último y el capital intangible son complementarios.

La educación y la salud se deben observar como elementos dinamizadores del crecimiento, sin los cuales los sistemas de bienestar carecerían de significado, por lo cual se evidencia la necesidad de separar estos “gastos” de la cuenta de consumo de las administraciones públicas, si se pretende no subestimar la formación del capital de una economía.

### EJERCICIOS DE CONTRASTACIÓN EMPÍRICA

Los modelos de crecimiento desarrollados para Colombia han mostrado una importancia significativa del capital humano en el crecimiento medido a través de la *proxy* en educación primaria y secundaria. Las dificultades son mayores cuando se recurre a la medición del capital intangible como una medida agregada, incluyendo investigación y desarrollo, innovación y aprendizaje, pues generalmente estos ítems del capital intangible aparecen en los SCN como gastos de consumo intermedio de las empresas.

Los modelos AK, en la misma vía del modelo MRW, consideran una formación de capital ampliado, esto es, que el capital total de una economía está conformado por el capital tangible (inversión en los SCN) y el capital intangible. Pese a diferir sobre el carácter del cambio técnico, ambos modelos no involucran como fuente del crecimiento la inversión por parte de las empresas en investigación y desarrollo (R&D), al igual que los procesos de innovación y aprendizaje.

En la tabla 5, modelo (1), se muestra el sentido de las relaciones entre varias medidas del capital humano y el crecimiento económico. Se encuentra que el capital humano a través del enrolamiento total de la economía KHT (preescolar, primaria y secundaria) es significativo estadísticamente; también lo es el capital físico, medido mediante la inversión física en el SCN.

Por otra parte, al tomar una medida del crecimiento del producto per cápita<sup>16</sup>—modelo (2)— se encuentra una alta importancia del enrolamiento en educación primaria y secundaria, al igual que la participación de la inversión pública intangible en el PIB (KHGY); por otro lado, la tasa de mortalidad infantil (TMI) no resulta estadísticamente significativa.

**Tabla 5**  
Modelos de capital humano y crecimiento:

Variables	(1)	Variables	(2)
Dependiente: Log(PIB)		Log RGDP	Log RGDP
Constant	-1,887634 (-4,1778)	Const.	12,99986 (8,582618)
Log KHT	0,858472 (24,3746)	Log Prim	-0,635036 (-4,6538)
Log INV	0,087627 (5,4447)	Log Sec	0,334594 (4,8145)
		Log KHGY	0,17824 (2,7900)
		Log TMI	-0,229231 (-1,6911)
Obs. 57	R <sup>2</sup> =0,9591	Obs. 1950-1992	R <sup>2</sup> =0,9603
DW = 1,8146	F=633,79	DW = 0,80	F=205,72

Fuente: Cálculo de los autores. Datos del Icfes (archivo histórico), DNP y Dane.

Los resultados presentados en la tabla 5 son indicativos de los signos y la significancia esperada entre las exportaciones no tradicionales y diferentes variables *proxys* del capital humano. Es vital para el modelo (1) de la tabla el que todos los coeficientes sean significativos

estadísticamente y con los signos esperados teóricamente *a priori*. No obstante, como ya se ha afirmado, sólo se desea mostrar las posibles relaciones existentes entre las exportaciones no tradicionales (EXNT) y diferentes medidas del capital humano, asumido como las dotaciones, debido a la educación superior y al posgrado. Para el período 1970-1992, se espera que el capital humano buscador de renta doméstico (CHPBRDOM), conformado esencialmente por los abogados graduados en la economía doméstica, tenga una incidencia negativa en el crecimiento económico. De hecho, la variable es significativa y el signo es el esperado. Otras variables, como el capital humano para el funcionamiento de la economía adquirido en el exterior (KHPFEX), que corresponde esencialmente a los contadores, economistas y demás carreras afines, presentan el signo esperado y son bastante significativas en el modelo estimado. Por otra parte, la variable capital humano investigación para el funcionamiento de la economía adquirido en el exterior (CIPFEX), integrada por el capital humano de las carreras relacionadas con la ingeniería y las ciencias puras, es de signo negativo, contrario a lo esperado teóricamente. Lo anterior puede asociarse, esencialmente, a las precarias condiciones económicas relacionadas con el enrolamiento del capital investigación en la ac-

tividad productiva. Finalmente, la variable-crecimiento del capital físico (CKM) aparece con signo negativo en la tabla 6 del modelo (3).

## CONCLUSIONES

Un amplio sector de la literatura económica considera al capital humano uno de los principales motores del crecimiento económico. No obstante en los SCN, de acuerdo con la metodología de Naciones Unidas, sólo se contabiliza la formación de capital físico o tangible, incurriendo en un sesgo a la hora de explicar los determinantes del crecimiento. En esta forma, como lo ha mostrado la literatura referenciada, especialmente Kendrick (1974) y Eisner (1988), entre otros, existe un sesgo en la contabilidad del ingreso nacional en la medición de la formación del capital sólo por medio de la inversión en capital tangible.

Dicho sesgo obedece a diferentes limitaciones: de la información estadística, el no reconocimiento metodológico, los problemas de desagregación de los componentes de consumo y de inversión, y el papel ya ganado por el capital físico. Todos los factores citados son barreras para la inclusión del factor en los SCN.

**Tabla 6**  
Modelos de capital humano y competitividad

Variables	(1)	Variables	(2)	(3)
Dependiente: Log(EXNT)				
Constant	-19,1507 (-3,5098)	Const.	-19,8488 (-3,900)	Const. -14,0590 (-5,4979)
chpbrdom	-0,4990 (-0,4965)	CHPFEX	2,8240 (5,196)	CHPDOM 2,1927 (8,4803)
CHPFEX	3,2043 (3,3709)	CIPFEX	-0,2839 (-3,967)	CKM 10,2273 (1,7502)
CIPFEX	-0,3073 (-3,498)			
Obs. 14	R <sup>2</sup> = 0,746	Obs. 14	R <sup>2</sup> = 0,7405	Obs. 11 R <sup>2</sup> = 0,9103
DW = 1.9083	F = 9,8298	DW = 2,0476	F = 15,69	DW = 2,0476 F = 40,614

Fuente: Cálculo de los autores. Datos del Icfes (archivo histórico), DNP y Dane.

CHPBRDOM: capital humano buscador de renta doméstica (aAbogados).

CHPFEX: capital humano para el funcionamiento de la economía adquirido en el exterior.

CIPFEX: capital humano de investigación para el funcionamiento de la economía adquirido en el exterior.

CHPDOM: capital humano productivo doméstico.

CKM: crecimiento del capital físico.

El capital humano aparece como variable clave en el crecimiento y en el mercado de trabajo en forma seminal, pues poco a poco se ha ido extendiendo a otros campos. Por su parte, la teoría del crecimiento económico muestra la importancia asumida por el capital humano como motor de crecimiento. Con todo, es hasta el advenimiento del modelo de crecimiento endógeno (Romer, 1986) cuando se establece un estatus para la teoría del capital humano en el ámbito del crecimiento económico.

La teoría del capital humano aparece revitalizada de esta manera con los trabajos de Schultz (1963) y Becker (1964), entre otros. Arrow (1962) entendía la existencia de un proceso de aprendizaje continuo dado en las fábricas, al que llamó *learning by doing*, pero este hallazgo teórico no implica el abandono del núcleo teórico del modelo de crecimiento neoclásico. Con el reavivamiento de la discusión sobre el crecimiento, en particular con los trabajos de Romer (1986) y Lucas (1988), se incorpora plenamente el capital humano como motor de crecimiento económico, esto es, el capital humano creado por los hogares y el gobierno a través de los gastos relacionados con la educación, la salud y el entrenamiento en el trabajo, entre otros.

De acuerdo con los avances en el nivel teórico se entiende el capital humano como una forma de inversión intangible, al igual que los demás componentes de tal clase de inversión (innovación, R&D), especialmente con su consideración como factor de producción sujeto a acumulación. Al igual que los demás factores de la función de producción, éste no se ha entendido plenamente como para ganar un lugar en los sistemas de cuentas nacionales de Colombia, según la metodología de Naciones Unidas.

La mayoría de los componentes del capital humano se ven involucrados con el consumo: formación de capital humano en los hogares y a través del gasto público en educación y salud. En el actual SCN se sigue considerando la producción de capital humano en los hogares como componente del consumo final, y el gasto del gobierno como componente de su propio consumo de bienes colectivos.

La anterior consideración sesga la real formación del capital en la economía, esencialmente porque desconoce el verdadero monto de la inversión intangible en la economía. Al pensar el capital humano como consumo final, y los gastos en R&D como de consumo interme-

dio, se desconoce que esta forma de inversión produce beneficios para su poseedor en períodos futuros, así como lo hace el capital tradicional.

El mecanismo más idóneo para involucrar la medición del capital intangible es el desarrollo de una metodología detallada de las cuentas de hogares, separando los componentes estrictos de consumo y los de formación de capital humano. Así mismo, como lo han mostrado varios autores para la economía de Estados Unidos y los países de la Oede (Kendrick, 1974; Eisner, 1988 y Ducharme, 1998), es posible construir en los SCN una metodología que registre la inversión intangible al lado de la inversión tangible (inversión física). Este proceso no sólo debe involucrar la separación de los componentes de inversión de los hogares, sino también el registro de los procesos de innovación y desarrollo efectuados por las empresas en sus propios laboratorios y la inversión del gobierno por medio de sus propias instituciones de investigación (no de financiación) en lo referente a la formación del capital intangible.

Así, la formación total de capital está dada en la economía por CAPITAL TANGIBLE + CAPITAL INTANGIBLE. En la referencia a la formación intangible de capital hay que considerar sus externalidades positivas, no sólo en producción de bienes y servicios, sino en otros componentes no medidos mediante los mercados, y que por tanto son atribuibles a éstas. Sin embargo, los SCN no registran estas externalidades propiamente, pero sí lo hacen con los ítems de inversión efectiva.

Los resultados empíricos obtenidos a escala internacional, así como en el ámbito local, no sólo permiten considerar el capital humano como componente de la inversión intangible, sino como uno de los motores dinámicos del proceso de crecimiento, a partir de sus complementariedades con el capital físico –modelo MRW–, y gracias a las consideraciones de imbalance en los modelos de Lucas (1988) y Barro (1992), entre otros. Pese al desbordamiento de los lineamientos del núcleo central de la estructura del modelo neowalrasiano, aún persisten las versiones del crecimiento económico y el capital humano, sin trazarse los linderos definitivos con el paradigma dominante.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abramovitz, M. (1986, June), "Catching Up, Forging Ahead, and Falling Behind" en *Journal of Economic History*, Vol. 46, No. 2.
- Aghion, P. & Howitt, P. (1998), *Endogenous Growth Theory*, MIT Press, Washington.
- Arrow, K. J. (1962, June), "The Economic Implications of Learning by Doing", en *Review of Economic Studies*, 29.
- Barro, R. & Sala-i-M. X (1995), *Economic growth*, McGraw-Hill, New York.
- Blaug, M. (1976, septiembre), "The Empirical Status of Human Capital Theory" en *Journal of Economic Literature*.
- Kiker, B.F. (1966, November), "The Concept of Human Capital" en *Essays in Economics*, No. 14, University of South Carolina.
- Becker, G. (1993), *Nobel Lecture: The Economic Way of Looking at Behavior*, Vol. 101.
- . (1987), *Tratado sobre la familia*, Alianza, Madrid.
- . (1964), *Human capital. A theoretical and empirical analysis with special reference to education*, 3rd edition, University of Chicago Press, Chicago.
- Benhabib, J. & Spiegel, M.M. (1994), "The role of human capital in economic development: Evidence from aggregate cross-country data" en *Journal of Monetary Economics*, No. 34, pp. 143-174.
- Berry, A. et al. (1993, diciembre), "Capital humano en Colombia" en *Revista Planeación y Desarrollo*, Vol. 24, edición especial.
- Caballero, R. & Jaffe, A.B. (1993), "How high are the giants' shoulders? An empirical assessment of knowledge spillovers and creative destruction in a model of growth" en: NBER Macroeconomics Annual 1994.
- Caballe, J. & Santos, M. (1993, diciembre), "On endogenous growth with Physical and Human Capital" en *Journal of political economy*, Vol. 101, No. 6, pp.-1042-67.
- Cárdenas, M. (1993), "Crecimiento y convergencia en Colombia: 1950-1990" en *Planeación y Desarrollo*, No. 621, pp. 53-80.
- Coleman, J. (1988), "Social Capital in the Creation of Human Capital" en *American Journal of Sociology*, Vol. 94, Supplement.
- Cuevas, H. (1996), "El capital humano en el sistema de precios" en *Revista Cuadernos de Economía*, Vol. 15, No. 24.
- De Long, J. & Bradford (1988, December), "Productivity Growth, Convergence and Welfare: Comment" en *American Economic Review*, Vol. 78, No. 5.
- Devereux, M.A. & Laphan, B. J. (19924, February), "The Stability of Economic Integration and Endogenous Growth" en *Quarterly Journal of Economics*, Vol 109, No. 436.
- Dinapoulos, E. & Thompson, P. (1998), *Revaluando la validez empírica del modelo de capital humano aumentado de crecimiento neoclásico*, Universidad de Florida, Gainesville.
- . (1997), *R&D-based long-run growth in a cross section of countries*, Mimeo, University of Florida.
- . (1996), *A Schumpeterian model of protection and relative wages*, Mimeo, University of Florida.
- . (1996), "A contribution to the empirics of endogenous growth", En *Eastern Economic Journal*, No. 22, pp. 389-400.
- Ducharme, L.M. (1998), "Measuring Intangible Investment", Statistics Canada, OECD, Montreal.
- Denison & Drucker, P. *Gerencia para el futuro. El decenio de los noventa y más allá*, Norma, Bogotá.
- Eisner, R. (1988, diciembre), "Extended Accounts for National Income and Product" en *Journal of Economic Literature*, Vol. 26.
- . (1980, May), "Total Income, Total Investment, and Growth" en *American Economic Review*, Vol. 70, No. 2.
- Graham, J. & Webb, R. (1979, June), "Stocks and Depreciation of Human Capital: New Evidence from a Present-Value Perspective" en *Income Wealth*, Vol. 25, No. 2. 70(2).
- Griliches, Z. (1996, January), "Education, Human capital, and Growth: A personal perspective", Working paper No. 5426, Cambridge.
- ICFES, Estadísticas.
- ICETEX, Estadísticas.
- Jones, C. I (1997, November), "Population and Ideas: A Theory of Endogenous Growth", NBER, Working Paper No. 6285, Cambridge.
- . (1995, May), "Time Series Tests of Endogenous Growth Models" en *Quarterly Journal of Economics*, 110.
- Kyriacou, G. (1991), "Level and growth effects of human capital", Working paper 91-26, CV Starr Center, New York University.
- Kuznets, S. (1937), *National Income and the Capital Formation, 1919-1935*, NBER, New York.
- . (1941), *National Income and Its Composition, 1919-1938*, NBER, New York.
- Levine, R. & Renelt, D. (1992), "A sensitivity analysis of cross-country growth regressions" en *American Economic Review*, No. 82, pp. 942-963.
- Lichtenberg, F.R. (1992), "R&D investment and international productivity differences" in Siebert, H. (ed.), *Economic growth in the world economy*, Mohr, Tubingen, pp. 89-110.
- Londoño, J. L. (1992), "Capital humano y distribución del ingreso: la experiencia colombiana" en *Planeación y Desarrollo*, Vol. 23, No. 2.
- Lucas Jr., R.E. (1988), "The Mechanics of the Economic Growth" en *Journal of Monetary Economics*, 32.
- Mankiw, G., Romer, D. & Weil, D. (1992, May), "A Contribution to the Empirics of Economic Growth" en *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 107, Issue 2, No. 429.
- Mulligan, C. & Sala-i-Martin, X. (1995), "Measuring aggregate human capital", NBER Working Paper No. 5016.
- Posada, C. "Crecimiento económico, capital humano y educación" en *Planeación y Desarrollo*, No. 621, pp. 53-80.
- . (1995, febrero), "Crecimiento económico, capital humano, ahorro e instituciones" En *Borradores Semanales de Economía*, No. 20.
- Rebelo, S. (1991, June), "Long-Run Policy Analysis and Long-Run Growth" en *Quarterly Journal of Economics*, 99.
- Romer (1986, October), "Increasing Returns and long-run Growth" en *Journal of Political Economy*, Vol. 94, No. 5, pp. 1002-37.
- . (1994, Winter), "The Origins of Endogenous Growth", en *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 8, No. 1, pp. 3-22.
- . (1993), "Idea gaps and object gaps in economic development. North-Holland" en *Journal of Monetary*.
- . (1990), "Endogenous technological change" en *Journal of Political Economy*, 98: S71-S102
- . (1990, October), "Endogenous Technological change" en *Journal of Political Economy*, 98, 571, 102.
- Ruiz Sarmiento, M. H. (1996), *Apertura económica y crecimiento económico: 1970-1995*, Tesis MsC en Ciencias Económicas, Universidad Nacional, Bogotá.
- Sachs, J. y Wagner, A. (1997), "Fundamental Sources of Long Run Growth" en *American Economic Review*.
- Sarmiento, E. (1993). *Fallas de mercado y motores de crecimiento económico*, Ediciones Uniandes, Bogotá.
- Schultz, Th. (1980), "Nobel Lecture: The Economics of Being Poor" en *Journal of Political Economy*, Vol. 88, No. 4.
- . (1961, March), "Investment in Human Capital" en *American Economic Review*, 51.
- Segerstrom, P.S. (1998), "Endogenous growth without scale effects" en *American Economic Review*, forthcoming.

Solow, R.M. (1956), "A contribution to the theory of economic growth" en *Quarterly Journal of Economics*, No. 70, pp. 65-94.  
 Summers, R. & Heston, A. (1988), "A new set of international comparisons of real product and price levels estimates for 130 countries, 1950-1985" en *Review of Income and Wealth*, No. 34, pp. 1-26.  
 Uribe, J.D. (1993), "Educación, complementariedades producción y crecimiento económico" en *Planeación y Desarrollo*, No. 621, pp. 31-51.  
 Wiesner, E. (1998), *La efectividad de las políticas públicas en Colombia*, TM-DNP, Bogotá.

## REFERENCIAS

1. Otros artículos anteriores son John R. Walsh (98, 1935) y Jacob Mincer (64, 1958), el libro de Milton Friedman y Simon Kuznets, *Income from Independent Professional Practice* (37, 1945) y el de Bernard F. Kiker (52, 1968), *La historia de las doctrinas del capital humano desde Petty y Blaug* (10, 1976).
2. El actual sistema de cuentas nacionales, versión 1993, incorpora los conceptos de servicios no producidos, al igual que la investigación y el desarrollo, los estudios de exploración y el *software* como elementos de la inversión; no sucede lo mismo con el capital humano formado por los hogares y el Estado.
3. Sobre las principales diferencias en salarios, Smith identificaba las siguientes causas: a) El grado de insatisfacción causado por el oficio; b) La estabilidad del empleo en cuestión; c) El nivel de confianza requerido por el empleado; d) La probabilidad de éxito a través de la actividad específica; e) El riesgo involucrado; f) La posesión de talentos especiales; g) El nivel de prestigio o desprestigio asociado; h) La recuperación de la inversión realizada en el aprendizaje del oficio; i) Una tasa de retorno a dicha inversión.
4. Como bien lo argumenta Homero Cuevas (1996), el problema de la no homogeneidad del trabajo se supera con la introducción del capital humano.
7. Romer (1992, p. 22).
8. Romer (1994b).
8. A través de un modelo *cross-section* para un amplio número de países, Sachs y Wagner (1997) muestran la correlación negativa entre la orientación económica hacia el sector primario y el crecimiento a largo plazo.
9. Esta visión se enmarca en la necesidad de considerar una versión amplia de la formación del capital, involucrando la formación del capital humano. Pero de igual forma considera la necesidad de incorporar inversiones en R&D, innovación y aprendizaje en un proceso que desborda la teoría del capital humano y trasciende hacia la formulación de modelos tipo schumpeterianos.
10. Así lo evidencian los últimos trabajos realizados por el Banco Mundial (Collier, 2000).
11. El capital humano no necesariamente es productivo en todo contexto. Las limitaciones impuestas por el subdesarrollo contribuyen a una caída en la productividad del capital humano, sobre todo en lo referente a la investigación científica.
12. Existen registros de educación desagregada a nivel superior, con cierta consistencia, a partir de 1970.
13. Los programas académicos son los siguientes: X1: agronomía, veterinaria y afines; X2: bellas artes; X3: ciencias de la educación; X4: ciencias de la salud; X5: ciencias sociales, derecho, ciencias políticas; X6: economía, administración, contaduría; X7: humanidades y ciencias religiosas; X8: ingeniería, arquitectura, urbanismo; X9: matemáticas y ciencias naturales.
14. La teoría del buscador de renta (*rent seeking*) considera que la debilidad de las instituciones permite la aparición de individuos y organizaciones que obtienen rentas de los nichos dejados por éstas. Se esperaría que su aporte al crecimiento económico fuera negativo (Wiesner, 1998).
15. Alguna literatura considera a las ciencias sociales como formadoras de un concepto más amplio que el de capital humano; esto es el capital social (Coleman, 1988).
16. La variable *RGDPL* (PIB per cápita) es un índice de Laspeyres construido por Summers y Heston, para más de cien países del mundo.



## AUTORES EN ESTE NÚMERO

---

### SHARON DAYANA GUZMÁN GONZÁLEZ

Ingeniera civil de la Universidad Cooperativa de Colombia, sede Ibagué. Especialista en estructuras de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Actualmente se desempeña como ingeniera de diseño en Proyectistas Civiles Asociados (PCA).

### ALFONSO RODRÍGUEZ DÍAZ

Profesor titular de la Escuela Colombiana de Ingeniería. Profesor de la Maestría en Ingeniería Civil y de la Especialización en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

### ÁLVARO HERNÁN CARDONA

Ingeniero sanitario de la Universidad del Valle. Especialista en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

### ERNESTO RIVEROS OSPINA

Ingeniero Civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería. Especialista en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

### HERNÁN PAZ PENAGOS

Candidato a Ph.D. en Educación, énfasis: educación en ingeniería, línea de investigación: Resolución de Problemas. Programa Presencial Interinstitucional entre las universidades Pedagógica Nacional, Distrital Francisco José de Caldas y Universidad del Valle. Magíster en Teleinformática de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Ingeniero electricista de la Universidad Nacional de Colombia. Ingeniero electrónico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y filósofo de la Universidad Santo Tomás de Aquino. Docente del área de comunicaciones, Facultad de Ingeniería Electrónica de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. [hernan.paz@escuelaing.edu.co](mailto:hernan.paz@escuelaing.edu.co).

### JAIRO RAÚL CHACÓN VARGAS

CM.Sc. Docente del Programa de Ingeniería Industrial de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

### NOEL JOSÉ CUENCA JIMÉNEZ

Economista, investigador de la Facultad de Economía de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

### FERNANDO CHAVARRO MIRANDA

Economista, profesor de la Facultad de Economía de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.



---

---