

DEFINICIÓN DE UN ÍNDICE MEDIOAMBIENTAL PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO MEDIOAMBIENTAL, CASO DE ESTUDIO, INDUSTRIA DE PUERTAS Y VENTANAS DE MADERA

MARY ELENA OWEN DE CONTRERAS¹,
VICENTE A. CLOQUELL BALLESTER²,
VÍCTOR A. CLOQUELL BALLESTER³ y
WILVER CONTRERAS MIRANDA⁴

DEFINITION OF AN ENVIRONMENTAL INDEX FOR EVALUATING ENVIRONMENTAL PERFORMANCE: A CASE STUDY IN INDUSTRY OF WOODEN DOORS AND WINDOWS

RECIBIDO: 12-12-10
ACEPTADO 21-07-11

- 1 Universidad de Los Andes, Facultad de Arquitectura y Diseño, Escuela de Diseño Industrial, Departamento de Tecnología, Laboratorio de Sostenibilidad y Ecodiseño. Mérida, Venezuela. E-mail: marowen3@gmail.com
- 2 Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Proyectos de Ingeniería e Innovación, Valencia, España. E-mail: cloquell@dpi.upv.es
- 3 Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Proyectos de Ingeniería e Innovación, Valencia, España. E-mail: vacloque@upvnet.upv.es
- 4 Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Centro de Estudios Forestales y Ambientales, Laboratorio Nacional de Productos Forestales, Laboratorio de Sostenibilidad y Ecodiseño. Mérida, Venezuela. E-mail: wilvercontrerasmiranda@yahoo.es

RESUMEN

A partir del uso del Diseño Ambientalmente Integrado (dAI), como una filosofía y metodología de diseño para el análisis holístico de los niveles de sostenibilidad de un producto, proceso o servicio, en relación con el medio ambiente y el desarrollo tecnológico, permitió determinar para la industria forestal, deficiencias respecto a: diseño de productos, procesos, y servicios; indicadores de Evaluación de Desempeño Medioambiental (EDM); e índices medioambientales. Se aplicó la metodología 3S para formular la propuesta de un índice medioambiental a ser aplicado, en una primera instancia, en la industria española de puertas y ventanas de madera y productos forestales, con proyección internacional. Se consultó a todo un panel seleccionado de expertos académicos e investigadores del sector forestal de Iberoamérica, y de profesionales que laboran en las principales industrias en cuestión. Se logra formular matemáticamente un índice de EDM contextualizado en la Integración Ambiental Total (IA_T), que contempla, además, todos los factores del Omnisverso total (Ω_T) para un intervalo de tiempo definido (t_{0-n}), donde se desenvuelva una industria. La propuesta alcanzada es innovadora, por su visión holística. Este índice medioambiental permite, primero, profundizar el diagnóstico y la proyección global futura de la situación real de una industria, con el uso de una metodología de EDM, para la evaluación medioambiental, y la toma de decisiones oportunas de la alta gerencia para la mejora continua. Finalmente, cuantifica las evaluaciones técnicas en detalle para los principales factores caracterizados en categorías (recursos, económica, tecnológica, socio-cultural, y político – institucional), en los seis niveles del Omnisverso.

Palabras clave: índice medioambiental, industria de la madera, análisis de ciclo de vida, indicadores.

SUMMARY

Using Integrated Environmental Design (dAI) as a philosophical and methodological starting point for holistic analysis on sustainability level of a product, its production process and service, we identified some deficiencies in our forestry industry. These deficiencies were recognized in product design, production process and service, in indicators of environmental performance evaluation (EDM) and also in environmental indexes. We then applied 3S method for formulating a proposal of an environmental index to be applied. As an initial case, we studied a Spanish industry of wooden doors and windows as well as other forestry products with international repercussion. We consulted with a panel of academic experts and researchers from Latin America in forestry sector and also with some professionals who work in principal industries in question. We mathematically obtained an EDM index, contextualized in terms of Total Environmental Integration (IAT). The index contemplates all the factors of Total Omnisverse (Ω_T) for a defined time interval (t_{0-n}), during which an industry would unfold. Our proposal thus formed is innovative in its holistic vision. This environmental index firstly allowed us to delve into proper diagnosis and to cast light on the global future of an industry. With an application of EDM method, one can evaluate environmental factors and also can make appropriate decisions at senior management level for continuous improvement. Finally, our proposed methodology would quantify technical evaluations in detail for the principal factors that are characterized in categories (resources, economy, technology, socio-cultural, political and institutional aspects) at six levels of Omnisverse.

Key words: environmental index, wood industry, life cycle analysis, indicators.

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo representa una concepción técnica, en el marco de la sostenibilidad, que de una manera innovadora logra proyectar la concepción filosófica de la Evaluación del Desempeño Medioambiental, la cual es una herramienta técnica que se fundamenta en la Ecoeficiencia y permite hacer que los procesos industriales estén en mayor sintonía e interrelación con las dimensiones ambiental, social y económica que hace posible el Desarrollo Sostenible en una determinada organización. De ahí, que por la importancia de la propuesta, el Comité Editorial de la Revista *Ecodiseño* reedita el presente artículo que fue a su vez publicado en la Revista de Ecología Latinoamericana (*Latinoamerican Journal of Ecology/Journal of Neotropical Ecology*: Volumen 12 Números 1-3), pero la inaccesibilidad a su página web y las continuas solicitudes a los autores por entes interesados, han hecho que esta concepción de características únicas, y que aún está en proceso de mejora, genere interés para ser aplicado a otros sectores industriales, caso de la industria química, forestal y de la construcción, que involucran la fabricación de pulpa y papel, madera laminada, muebles, construcción de sistemas y materiales constructivos, entre otros.

En ese sentido, el desarrollo de actividades económicas (actividades industriales, de servicios, de transformación de energía, de transporte, etcétera) realizadas de forma que se respete el medio ambiente, es un objetivo que cada vez toma una gran relevancia, y no sólo para las empresas industriales, también para otras organizaciones: ayuntamientos, universidades y centros de investigación, hospitales, y otros. El modo en que la empresa sea capaz de asumir este objetivo dependerá que el respeto por el medio ambiente facilite o dificulte la consecución de sus restantes objetivos y metas (Capuz, 1999).

En relación al respeto del medio ambiente, la reciente propuesta del Diseño Ambientalmente Integrado (dAI) de Cloquell *et al.* (2004); Contreras y Cloquell (2006), tratada de forma específica para la Industria Forestal, hacen reflexionar sobre la importancia vital de los bosques en general para el equilibrio y armonía ecológica del planeta, además del rol fundamental que puede desempeñar todo individuo proactivo que en la actualidad este vinculado con el contexto de la industria, comercialización, ciencia y tecnología de la madera sólida y sus productos forestales. El rol actual, debe ser proactivo y la sociedad en general, debe asumirlo como tal, incluida la Administración con sus legislaciones y la industria en general con su rol productivo y énfasis en generar riqueza y dinamismo comercial, con ella la Industria Forestal con sus respectivos sub sectores (Industria Mecánica Forestal, Industria del Mueble, Industria de Puertas y otras). Las respuestas de las industrias o empresas ante las nuevas normativas medioambientales y ante las críticas sociales por el impacto negativo de sus actividades ha sido, tradicionalmente, la de reaccionar a estos problemas según se iban planteando.

Todo lo anterior conlleva a desarrollar con gran premura, la definición de indicadores, metodologías que permitan perfeccionar la evaluación y mejora de los procesos y servicios industriales forestales, así como de índices medioambientales que coadyuven a cuantificar los niveles de sostenibilidad de forma integral, y en intervalos de tiempo muy concretos. Por ello, se expone en el presente trabajo, el resultado de una labor consensuada entre expertos con un alto nivel técnico y científico. Así se llegó, en una primera instancia, a la formulación matemática de un Índice Medioambiental para la Evaluación de Desempeño Medioambiental (EDM), la cual esta contextualizada dentro de la visión de la Integración Ambiental Total (IA_T), que contempla, además, todos los factores del Omniverso

total (Ω_T) para un intervalo de tiempo definido (t_{0-n}), donde se desenvuelva una industria, en este caso específico aplicado a la industria de puertas y ventanas de madera y productos forestales.

De ahí, que se establezca como objetivo general el desarrollar una propuesta de formulación matemática para un Índice Medioambiental que permita englobar todos los factores técnicos requeridos para la Evaluación del Desempeño Medioambiental de la Industria de Puertas y Ventanas de Madera, según los principios establecidos en la concepción del Diseño Ambientalmente Integrado (dAI).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El desarrollo de la propuesta de formulación matemática del Índice Medioambiental fue definida a partir del uso de la aplicación de la Teoría de las Seis Dimensiones del Proyecto y su *Estrategia General de Resolución de Problemas* de Gómez-Senent (1998) (2002), y la aplicación de la Metodología de las 3S de Cloquell (2003). Esta última, permitió organizar y realizar de manera secuencial las diferentes fases para lograr cumplir los objetivos planteados que conducirán a la propuesta de un Índice Medioambiental para la Evaluación del Desempeño Medioambiental de la Industria de Puertas y Ventanas de Madera y Productos Forestales. La misma propuesta, se proyecta, por igual, a ser aplicada a otros sectores industriales, sólo que requeriría proyectar su propia caracterización y particularización de los factores y coeficientes. Dentro de la Metodología 3S, en la validación científica se logró con éxito la consulta a todo un panel seleccionado de expertos académicos e investigadores del sector forestal de Iberoamérica, y de profesionales que laboran en las principales industrias en cuestión, especialmente de España. Así se definió de manera exitosa la fórmula matemática de un Índice Medioambiental de EDM, el cual permite cuantificar, como resultado de un complejo análisis holístico de multiplici-

dad de factores y aspectos, la actividad de una organización industrial en un periodo de tiempo específico.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El desarrollo metodológico para alcanzar la propuesta de un Índice Medioambiental para la Evaluación del Desempeño Medioambiental de una Industria de Puertas y Ventanas de Madera y Productos Forestales, se fundamenta, entre otras, en la estrategia frente al medio ambiente de lograr en primera instancia *industrias reactivas*, es decir, las empresas cuya política medioambiental se fundamenta en la reacción (Yarwood y Eagan, 2000), y no en lo que antes sucedía, en el *control de la contaminación* (corregir los impactos una vez generados). A partir de esta concepción, Owen de Contreras (2006), desarrolló la Figura 1. En ella se puede apreciar los diferentes niveles de los contextos de acción proactiva en la que se desenvuelve la Industria de Puertas con la aplicación de los Sistemas de Gestión Medioambiental (SGM) y la EDM, que también pueda aplicarse al resto de industrias forestales que no los tengan implantados. Se puede apreciar las interrelaciones que pueden llegar a existir, entre las actividades industriales que se generan a través del ciclo de vida de los productos manufacturados por una Industria de Puertas y el Entorno, con sus respectivos Impactos y Aptitudes.

Es de señalar que la estructura de relaciones planteada en la figura 1 puede ser vista como un modelo sistémico, donde todos los niveles contextuales de la Industria de Puertas con sus actividades productivas, vienen a estar interconectadas por flujos de relación directa en ambas direcciones con la Dirección y Estructura Funcional (Directores, jefes de departamentos, jefes de áreas, obreros, proveedores, etc.) de la Organización, entendida ésta según la Norma ISO 14031:1999 (1999), como una compañía, corporación, firma, empresa autoridad o

institución, o parte o combinación de ellas, tengan forma de sociedad o no, pública o privada, que tiene sus propias funciones y administración. Igualmente acontece respecto a la interrelación con las partes interesadas, consideradas como individuo, grupo relacionado o afectado por el comportamiento medioambiental de una organización.

Respecto a las otras actividades de uso y retiro del producto (reciclaje, reutilización, desecho), aunque no son responsabilidad directa de la Industria de Puertas, ésta juega un rol fundamental en la definición del producto, que con criterios sostenibles, permita, entre otras su reutilización por medio del desensamblaje, el mayor porcentaje de materias primas orgánicas, disminución de productos químicos perjudiciales para la salud humana y ecosistemas. Otro rol importante es el del Proyectista y la búsqueda de un producto con altos niveles de ecoeficiencia, definidos a partir de una buena metodología de diseño, caso la del dAI. Con estos niveles contextuales, la EDM es la que abriga y permite conectar, entre otras y según la figura 1, las interrelaciones del Proyecto y sus Impactos generados respecto al Entorno. Así, por medio de la EDM y los ACV, permiten obtener y analizar los datos de los diferentes impactos que se suceden en todas las actividades, y a su vez en los diferentes niveles de interrelaciones con sus impactos ambientales positivos y negativos, que se suscitan dentro de la industria, su entorno inmediato, medio y general (medio ambiente).

La figura 1, también desarrolla de forma explícita la estructura de relaciones referidas a las Aptitudes del Entorno. Gómez-Orea (2003), define esta direccionalidad entre Entorno y Proyecto, donde una Aptitud identifica las relaciones en el sentido contrario a los Impactos, y evalúa, pues, el comportamiento del Entorno para con el Proyecto, considerado en el presente trabajo bajo la óptica de una infraestructura construida, caso una Industria de Puertas.

También incluye los riesgos naturales (inestabilidad del terreno, inundación, sismicidad, etc.) y se puede definir como la medida en que el Entorno responde a los requisitos locacionales del Proyecto o infraestructura industrial. Respecto a los Impactos, su definición queda ampliada desde la visión de la Integración Ambiental. Un proyecto puede considerarse desintegrado de su entorno tanto porque produzca un impacto ambiental negativo demasiado grave, como porque se plantee desvinculado de su Entorno. En consecuencia, *el impacto sería una medida de la Integración Ambiental y la evaluación del impacto, no sería otra cosa que la valoración de dicha medida de la integración.*

En el presente trabajo, el impacto ambiental puede ser tratado como un cambio estructural y funcional de los factores ambientales a través del tiempo, originado por intervenciones humanas sobre el entorno; de esta manera, dicho Impacto está constituido, tanto por los cambios en las características ecológicas o *"impacto ecológico"*, como por los aspectos que caen en los *"impactos socioeconómicos y culturales"* del ambiente humano, ambos van en detrimento de la productividad del ecosistema y de su capacidad para amortiguar los procesos degenerativos que impiden el desarrollo al disminuir la calidad de vida. Esto es un argumento válido para excluir los efectos positivos de los proyectos, ya que estarían dentro de las intenciones, o los cambios esperados a causa de las modificaciones del ambiente definidos en el desarrollo de los mismos proyectos.

Lo importante de la temática tratada, es que aún existen muchas conjeturas y puntos de vista al respecto y que su dinámica, por la importancia de preservar el medio ambiente en los últimos años, toma cada día más fortaleza en infinidad de proyectos de diseño, infraestructuras civiles, etcétera.

De ahí que la única forma de cuantificar esos impactos es por medio del uso de indicadores ambientales. En el área forestal,

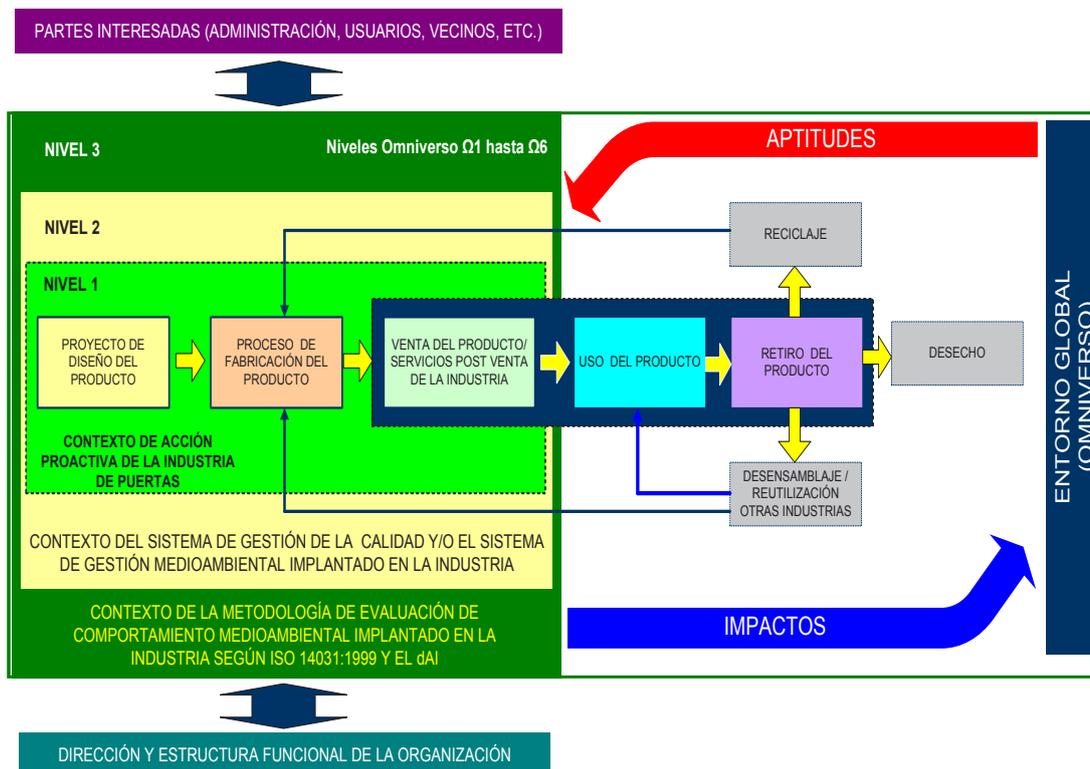


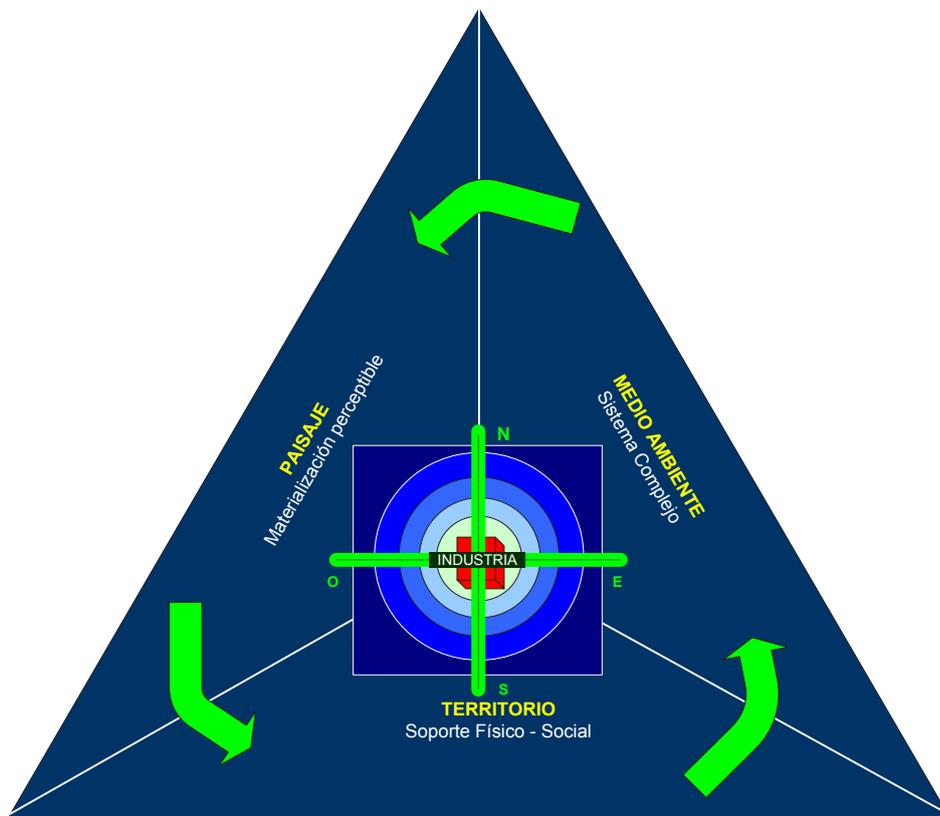
FIGURA 1. Niveles contextuales de la industria de puertas, Sistema de Gestión de la Calidad (ISO 9000/EFQM/etc.), Sistema de Gestión Medioambiental (ISO 14001) y la Evaluación del Comportamiento/Desempeño Medioambiental (ISO 14031:1999) y sus diferentes interrelaciones con el Entorno global (Omniverso), que se desarrollan a través del ciclo de vida del producto puerta. Fuente: Elaboración propia a partir de Owen de Contreras *et al.* (2006).

específicamente en el sector de la Industria de Puertas y Ventanas de Madera y Productos Forestales, Owen de Contreras (2006), viene a resolver, en una primera aproximación técnica, parte de la deficiencia en esa materia. Entonces, la Evaluación de Desempeño Medioambiental (EDM), fundamentará su éxito en su calidad comprobada, en la ética del técnico responsable de recabar la información y que la misma tenga el más alto nivel de rigurosidad en la toma de datos y la aplicación de éstos, sin sesgos, en el entorno de una industria de puertas, sin importar el tamaño de la misma. Así mismo la concepción del dAI coincide con el planteamiento de Gómez-Orea (1999), cuando señala que la idea de la Integración Ambiental debe encaminar, en las primeras etapas de los proyectos, a planteamientos multicriterios de los mismos, con lo que se evitaría dejar por fuera alguna variable, factor o aspecto que debe ser considerado en la Evaluación Ambiental Estratégica (EIA).

La concepción del Diseño Ambientalmente Integrado (dAI), permite considerar la valoración medioambiental de toda actividad industrial, al considerar, la industria, caso de puertas de madera y productos forestales, con toda su infraestructura y actividades internas y externas, establecida dentro de un Entorno, al cual en la figura 3 es compatible con el Omniverso, propuesto por Cloquell (2006) (Figura 2), conformado globalmente por tres componentes: Medio Ambiente, Paisaje y Territorio. Cada uno tiene su descripción y está en pleno equilibrio e interrelacionados entre sí. Se entiende por Omniverso, a todo lo variable, siendo todo conjunto abierto y conexo en el sentido de un factor y sus tres realidades (soporte, sistema y percepción).

La figura 3 muestra la ubicación de una Industria de Puertas dentro del Omniverso, debidamente contextualizada en un territorio y su interrelación con el medio ambiente y el

FIGURA 2. Ubicación de la Industria de Puertas, u otra industria, dentro del Omniverso (Ω). Fuente: Elaboración propia.



paisaje, dentro de un sistema de coordenadas geográficas específicas de la industria. De ahí que esa industria una vez estudiada desde la Integración Ambiental con su Análisis Estratégico, esta definido por una serie de niveles donde se reportaran los diferentes impactos determinando las Aptitudes del territorio, según el cuadrante espacial, para soportar esos posibles impactos o niveles de sostenibilidad.

El Diseño Ambientalmente Integrado (dAI), en su concepción holística está en concordancia con la concepción del Omniverso, ya que incorpora todo el conjunto de factores desde los puntos de vista: Económicos, tecnológicos, antropológicos, religiosos, éticos, salud, político-administrativos, etc.

Entonces, partir de la secuencia conceptual formulada anteriormente y definidas en las figuras 1 y 2, permite determinar el contexto

global donde se desarrollará la Evaluación del Desempeño Medioambiental de la Industria de Puertas de Madera y Productos Forestales, eso sí, conscientes de que los Impactos pueden ser: primarios (directo y de primer orden); secundarios (indirecto o inducido); a corto plazo (cuyos efectos significativos se presentan en tiempos relativamente breves); a largo plazo (cuyos efectos significativos ocurren en lapsos distantes desde el inicio de la acción) y acumulativo (donde los efectos de un impacto se suman directamente, o en forma sinérgica, a condiciones ya presentes en el ambiente o a las de otros impactos). Todos esos Impactos pueden llegar a ocurrir en tiempos, espacios, magnitudes y costos parciales, dentro de un tiempo (TGn), espacio (EGn), magnitudes y costos globales (CGn).

Compaginando las figuras 1 y 2, conceptualmente permiten apreciar el desarrollo de la

figura 3 que representa el modelo propuesto para la Evaluación de Desempeño Medioambiental de una Industria, caso de estudio, de Puertas de Madera y Productos Forestales, a partir del Diseño Ambientalmente Integrado (dAI) y desde la visión de la Integración Ambiental Total. El mismo modelo conceptual permite retomar lo expuesto por Contreras y Cloquell (2006), donde la Integración Ambiental Total (IA_T), en la estructura conceptual del dAI, queda definida por la sumatoria de los siguientes conceptos:

- Integración Ambiental Estratégica (IA_e) compuesta por las Políticas, Planes y Programas.
- La Integración Ambiental Operativa (IA_o) compuesta por Proyectos y Procesos.
- La Integración Ambiental de Productos (IA_p), compuesta por el Producto.

Es decir:

$$IA_T = IA_e + IA_o + IA_p \quad (Ec.1)$$

La fórmula anterior (Ec.1), también queda conceptualizada para la Evaluación del Desempeño Medioambiental, de acuerdo a la concepción del Omniverso.

- Para el proceso de análisis y valoración cualitativa y cuantitativa de la Integración Ambiental Estratégica (IAe), se aplica el análisis de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA) en cada uno de los niveles del Omniverso (NΩ₁₋₆), donde así lo amerite, según sean los factores que participen en un espacio y tiempo global. En el nivel de la IAe se pretende evaluar la verdadera disposición de la Industria u Organización para alcanzar los objetivos y metas en plena concordancia con las políticas de la industria, y éstas a su vez en

plena integración con las Políticas, Planes y Programas medioambientales establecidas por la Administración, ya sea central, regional o local. Cabe destacar, según la definición anterior, que la Integración Ambiental Estratégica (IAe) está enmarcada dentro del Diseño Ambientalmente Integrado (dAI), es decir en el entorno de las industrias u Organizaciones (servicios, transporte, etcétera), la cual es conceptualmente diferente a la Evaluación Ambiental Estratégica (EAI) que permite valorar las Políticas, Planes y Programas de las Administraciones de un país tales como, Planes Nacionales de Desarrollo, Planes Forestales Autonómicos y el Plan Forestal Español, Planes de Desarrollo del Sector Industrial.

- Respecto a las Integración Ambiental Operativa (IAo), el proceso de análisis y valoración cualitativa y cuantitativa de cada factor en los niveles de Omniverso (NΩ₁₋₆) donde así lo amerite. Esta valoración es igualmente definida por cada una de las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas en relación a la disposición de la Industria u Organización respecto a los objetivos y metas trazados para llevar a cabo los Proyectos y Procesos según las consideraciones medioambientales, de calidad y seguridad industrial.
- En referencia a las Integración Ambiental de Producto (IAp), el proceso de análisis y valoración cualitativa y cuantitativa de cada factor en los niveles de Omniverso (NΩ₁₋₆) donde así lo amerite. Esta valoración es igualmente definida por cada una de las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas en relación a la disposición de la Industria u Organización respecto a los objetivos y metas trazados para la fabricación y uso de los productos según las consideraciones medioambientales, de calidad y seguridad industrial.

Una vez realizado cada uno de los análisis de la IAe, IAo y la IAp, según sean los factores desarrollados, se procede de forma consensual a la valoración cuantitativa por parte de los Expertos que conforman el panel de evaluación. El proceso de valoración remite al uso de Técnicas de Decisión Multicriterio (MDCM), Método Delphi u otro método que así crean conveniente los responsables de la investigación. El equipo de Expertos, deberá ser altamente cualificados en la temática de estudio, y se recomienda como mínimo la participación de tres Expertos cuando sea el caso de una PYME, y preferiblemente cinco, si están dadas las circunstancias. Todo ello quedará sujeto a la disponibilidad económica, objetivos y alcances del estudio.

Igualmente, la composición mínima del equipo de Expertos para una industria grande será definido por personal interno, ya por un miembro de la alta gerencia (gerente de producción); un técnico de procesos de la industria (jefe de líneas de producción) o el responsable de calidad y medioambiente. Los Expertos externos serían, entre otros, un especialista en análisis de ciclo de vida (ACV) y ecodiseño; un especialista en Sistemas de Gestión Medioambiental; un especialista en Sistemas de Calidad y Seguridad Industrial. La evaluación y proceso de unificación en una escala única de cada una de las Integraciones Ambientales, se define por medio del uso de dos escalas ordinales expuestas por Owen de Contreras (2006). Ésta permite convertir cada uno de los análisis, desde una valoración cualitativa a cuantitativa. Así se logra alcanzar la adimensionalidad de los análisis según cada factor en las tres Integraciones Ambientales propuestas.

Toda la información recopilada va arrojando una serie de cuadros con análisis y valoraciones, que son del resultado del resumen de la determinación de la Puntuación Única parcial para cada factor que influya en la Industria u Organización analizada en un tiempo y espacio determinado, tales como: Ambiental/Recursos, Tecnológico, Económico, Social,

Político-Administrativo, Ética Empresarial, etcétera. Todo ello como producto de recopilar, analizar y evaluar todos los aspectos más significativos de cada factor, y convertir la valoración cualitativa a cuantitativa. Se debe resaltar, que los aspectos que se analizan arrojarán la información de la industria en cuanto a su disposición para alcanzar los objetivos y metas voluntarias que permiten llevar a cabo sus políticas respecto al cumplimiento de las normas medioambientales, calidad y seguridad industrial en procura de los preceptos del Desarrollo Sostenible.

La fórmula matemática Ec.2 expresa las diferentes Puntuaciones Únicas según la Integración Ambiental de la Evaluación del Desempeño Medioambiental de cada factor evaluado, siendo esta:

$$PU - IA_{T-F/n} = \sum (IA_{eF/n}) + \sum (IA_{oF/n}) + \sum (IA_{pF/n}) \quad (Ec.2)$$

Con los valores obtenidos en los cuadros de Puntuación Única de todos los factores, se representa posteriormente en un cuadro resumen la Puntuación Única Total de la IA_T para el conjunto de factores considerados en todo el Omniverso. Al desarrollar el compendio anterior, se considera según la visión del Diseño Ambientalmente Integrado, que el estudio ha sido realizado de forma consensual, exhaustiva, holística, detallada y científicamente riguroso. La formulación matemática que permite determinar esa Puntuación Única Total de la Integración Ambiental Total de todos los factores, es la siguiente (Ec3):

$$PU - IA_T = \sum (IA_{eT}) + \sum (IA_{oT}) + \sum (IA_{pT}) \quad (Ec.3)$$

Así, con todos estos análisis y valores, se llega a la obtención de los cuadros que exponen los aspectos más resaltantes acontecidos en cada

nivel según las Fortalezas, Amenazas, Debilidades y Oportunidades (FODA) de la totalidad de factores según la Integración Ambiental Total. El cuadro 1 expone a modo de referencia, cuando se tiene que definir el FODA para el factor ambiental. Toda esta información será el resultado exitoso de una buena aplicación de la EDM en la Industria de Puertas u otra industria forestal.

La finalidad de exponer los aspectos más significativos de las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas, encontrado para cada Omniverso, es facilitar la toma de decisiones en cada uno de los niveles de la IAe, IAo e IAp. Retomando lo expuesto por Contreras y Cloquell (2006), respecto a la formulación matemática del Diseño Ambientalmente Integrado (dAI), como un índice medioambiental para la EDM, y por todo lo conceptualmente desarrollado en el presente trabajo, se confirma que el dAI es una herramienta que evoluciona, es adaptable y mutante según el contexto al cual se le aplique.

Ya que el presente trabajo, es parte del desarrollo de una propuesta de Metodología de Evaluación de Desempeño Medioambiental (EDM) para la Industria de Puertas de Madera y Productos Forestales, proyectada a otra Industria Forestal, caso de la Industria de Ventanas, se llega a la formulación matemática Ec.4 que define el Índice Medioambiental para la EDM a partir del Diseño Ambientalmente Integrado de la Industria de Puertas para todos los factores del Omniverso en un intervalo de tiempo determinado (t_{0-n}):

$$EDM_{dAI (tm)} = \sum [IA_{T-F/n} \pm EDM_{Ind F/n} \pm ACV_{p/s}] \times \psi_n \quad (Ec.4)$$

Es decir:

$$EDMn_{dAI - (t1)} = \sum [(IA_{T-F/A} + EDM_{Ind F/A} + ACV_p + ACV_s) \times \psi_A \pm (IA_{T-F/T} + EDM_{Ind F/T}) \times \psi_T \pm \dots \pm (IA_{T-EDM-F/n} + EDM_{Ind F/n}) \times \psi_n] \quad (Ec.5)$$

Todo ello proyecta el desarrollo del cuadro 2, el cual permite registrar las valoraciones de cada componente obtenidos según la fórmula Ec.5. Al analizar esta fórmula se puede apreciar para el caso del factor ambiental ($IA_{T-F/A} + EDM_{Ind F/A} + ACV_p + ACV_s$), que la misma incluye la sumatoria varios componentes:

- La valoración de la Puntuación Única parcial del desarrollo de la Integración Ambiental Total para el Factor Ambiental ($IA_{T-EDM-F/A}$), como resultado de todas las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas que se tengan en los diferentes niveles del Omniverso, incluidos todos aquellos aspectos individuales que pudieran generar posibles impactos físicos, visuales, etcétera (altura, volúmenes, excavaciones de sótanos, la dimensión de la parcela y la edificación, etcétera).
- La Evaluación del Desempeño Medioambiental de la industria para cada factor ($EDM_{Ind F/n dAI}$), a partir de los indicadores propuestos por Owen de Contreras (2006).
- Los Análisis de Ciclo de Vida para los diferentes productos manufacturados (ACV_p) por la industria evaluada.
- El Análisis de Ciclo de Vida para los Servicios (ACV_s) de ventas y postventas, que eventualmente pueda llegar a ofrecer, según sea el tamaño, de la Industria de Puertas u otra industria donde se aplique la metodología de ECM.

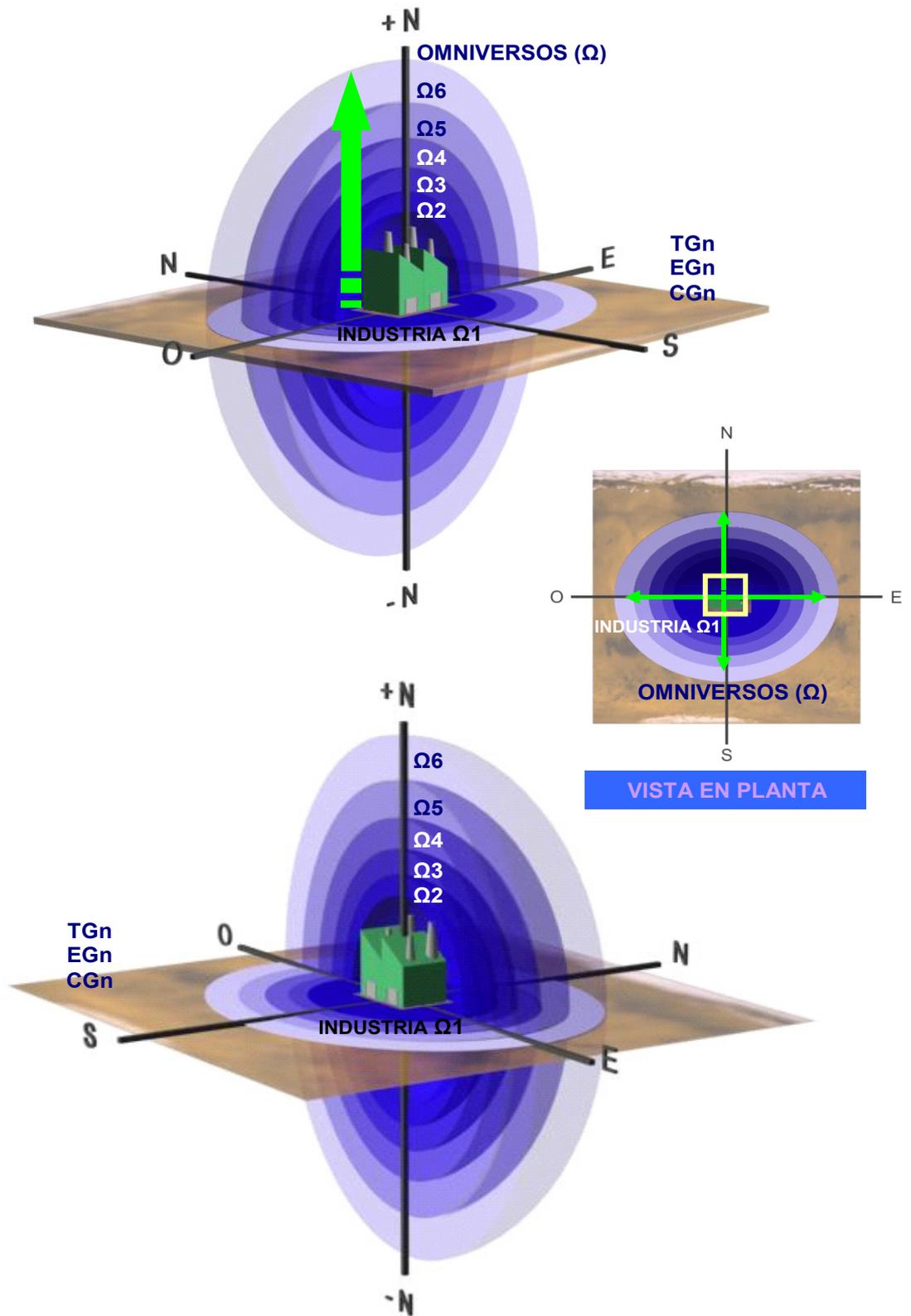


FIGURA 3. Vista tridimensional del Modelo conceptual del Omniverso de una Industria (puertas/u otra), ubicada en un tiempo global (TGn), espacio global (EGn) y Costo Global (CGn), con sus seis niveles de Omniversos (Ω_{1-6}) de interrelación de impactos – aptitudes, que pueden existir en cada uno de los cuadrantes del espacio. Fuente: Elaboración propia.

Integración Ambiental Total Factor Ambiental (IA _{T-F/Ambiental})							
NIVELES	Fortalezas Oportunidades Debilidades Amenazas	Integración Ambiental Estratégica	PU (IA _{e/FA})	Integración Ambiental Operativa	PU (IA _{o/FA})	Integración Ambiental Productos	PU (IA _{p/FA})
NΩ ₁	F						
	O						
	D						
	A						
NΩ ₂	F						
	O						
	D						
	A						
NΩ ₃	F						
	O						
	D						
	A						
NΩ ₄	F						
	O						
	D						
	A						
NΩ ₅	F						
	O						
	D						
	A						
NΩ ₆	F						
	O						
	D						
	A						
Puntuación Única Parcial			Σ(IA _{e/FA})		Σ(IA _{o/FA})		Σ(IA _{p/FA})
Puntuación Única Total del F/Ambiental.			(F.2) IA _{T-F/Ambiental} = Σ(IA _{e/FA}) + Σ(IA _{o/FA}) + Σ(IA _{p/FA})				

CUADRO 1. Determinación de la Puntuación Única de la Integración Ambiental para el caso del Factor Ambiental, el cual influye en el Omniverso (IA_{T-F/A}) de la actividad industrial de una Industria de Puertas, pudiendo extrapolarse a otras industrias. Fuente: Elaboración propia.

Ya que el presente trabajo, es parte del desarrollo de una propuesta de Metodología de Evaluación de Desempeño Medioambiental (EDM) para la Industria de Puertas de Madera y Productos Forestales, proyectada a otra Industria Forestal, caso de la Industria de Ventanas, se llega a la formulación matemática Ec.4 que define el Índice Medioambiental para la EDM a partir del Diseño Ambientalmente Integrado de la Industria de Puertas para todos los factores del Omniverso en un intervalo de tiempo determinado (t_{0-n}):

$$EDM_{dAI(tn)} = \sum [IA_{T-F/n} \pm EDM_{Ind F/n} \pm ACV_{p/s}] \times \psi_n \quad (Ec.4)$$

Es decir:

$$EDMn_{dAI-(t1)} = \sum [(IA_{T-F/A} + EDM_{Ind F/A} + ACV_p + ACV_s) \times \psi_A \pm (IA_{T-F/T} + EDM_{Ind F/T}) \times \psi_T \pm \dots \pm (IA_{T-EDM-F/n} + EDM_{Ind F/n}) \times \psi_n] \quad (Ec.5)$$

Todo ello proyecta el desarrollo del cuadro 2, el cual permite registrar las valoraciones de cada componente obtenidos según la fórmula Ec.5. Al analizar esta fórmula se puede apreciar para el caso del factor ambiental ($IA_{T-F/A} + EDM_{Ind F/A} + ACV_p + ACV_s$), que la misma incluye la sumatoria varios componentes:

- La valoración de la Puntuación Única parcial del desarrollo de la Integración Ambiental Total para el Factor Ambiental ($IA_{T-EDM-F/A}$), como resultado de todas las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas que se tengan en los diferentes niveles del Omniverso, incluidos todos aquellos aspectos individuales que pudieran generar posibles impactos físicos, visuales, etcétera (altura, volúmenes, excavaciones de sótanos, la dimensión de la parcela y la edificación, etcétera).
- La Evaluación del Desempeño Medioambiental de la industria para cada factor ($EDM_{Ind F/n dAI}$), a partir de los indicadores propuestos por Owen de Contreras (2006).
- Los Análisis de Ciclo de Vida para los diferentes productos manufacturados (ACV_p) por la industria evaluada.
- El Análisis de Ciclo de Vida para los Servicios (ACV_s) de ventas y postventas, que eventualmente pueda llegar a ofrecer, según sea el tamaño, de la Industria de Puertas u otra industria donde se aplique la metodología de ECM.

De ahí, que la Evaluación del Desempeño Medioambiental para una Industria de Puertas cualquiera ($EDM_{dAI - (t 0-n)}$) a partir de la fórmula Ec.5, desde la visión del Diseño Ambientalmente Integrado, realizado en un tiempo definido, debe estar en un todo de acuerdo según las recomendaciones de los evaluadores, con las normas medioambientales vigentes relacionadas con dicha industria, y se debe realizar por lo general, cada año (EDM_{t1}). Se debe acotar que

el valor normalizado indicado en el cuadro 2, se realiza a fin de igualar con el mismo peso a cada uno de los factores de la fórmula Ec.5. Esa estrategia de normalización se viene a llamar también función de valor (utilidad), y han sido aplicados, entre otros, por Gómez-Orea (2002), en los estudios de impacto ambiental, en el que los valores heterogéneos se convierten a unidades homogéneas de Calidad Ambiental mediante dichas funciones.

En el presente trabajo se hace un proceso de normalización donde la suma de los pesos de los atributos se supone igual a la unidad, siendo una función aditiva. Una vez realizado el proceso de normalización de los valores obtenidos de $EDM_{dAI - (t 0-n)}$ para cada uno de los cinco factores, se multiplican posteriormente por cada coeficiente (ψ) que define la importancia de cada factor, el cual deberá ser determinado y validado por medio de una consulta a Expertos. Con el valor total obtenido de la fórmula Ec.5 de la $EDM_{dAI - (t 0-n)}$, se traslada a la escala de valoración del Diseño Ambientalmente Integrado expuesta en la figura III.15, planteada para la Industria Forestal del trabajo realizado por Contreras *et al.* (2006), en la que se expone el Modelo explicativo de la posible ocurrencia en la valoración de los impactos ambientales que se generan en una actividad industrial, ejemplo la manufactura de puertas de madera.

Esa escala permite inferir, según sean los impactos, en que rango de tolerancias está la industria de puertas y qué acciones se deben acometer para mejorar su sistema de producción. La misma también permite inferir sobre el nivel de sostenibilidad que pudiera tener una industria según la Puntuación Única Total de la Evaluación del Desempeño Medioambiental. Finalmente, y en consonancia con lo planteado en el objetivo general, se logró definir la Evaluación del Desempeño Medioambiental para la Industria de Puertas de Madera y Productos Forestales ($EDMn_{dAI - IP (t 0-n)}$), a partir del Diseño Ambientalmente Integrado y la

FACTOR	TERMINOS DE LA FORMULA							
AMBIENTAL	IAT _{F/Amb.}	EDM _{Ind F/Amb}	PU – ACV Producto	PU – ACV Servicios	Valor del Factor	Valor Normalizado	Coefi- ciente ψ	dAI del factor
TECNOLÓGICO	IAT _{F/Tec.}	EDM _{Ind F/Tec.}						
ECONÓMICO	IAT _{F/Eco.}	EDM _{Ind F/Econ.}						
SOCIO- CULTURAL	IAT _{F/So-Cul.}	EDM _{F/So-Cul.}						
POLÍTICO- ADMINISTRAT.	IAT _{F/Pol-Adm.}	EDM _{F/Pol-Adm.}						
OTROS	IAT _{F/Otros}	EDM _{Ind F/Otros.}						

$$EDMn_{dAI-(t-1)} = \sum [(IA_{T-F/A} + EDM_{Ind F/A} + ACV_p + ACV_s) \times \psi_A \pm (IA_{T-F/T} + EDM_{Ind F/T}) \times \psi_T \pm \dots \pm (IA_{T-ECM-F/n} + EDM_{Ind F/n}) \times \psi_n] \quad (Ec.5)$$

CUADRO 2. Cuadro resumen general de la determinación del Diseño Ambientalmente Integrado de la Evaluación del Desempeño Medioambiental (EDM) aplicando la fórmula (Ec.5). Fuente: Elaboración propia.

Integración Ambiental Total, como un Índice Medioambiental (Formula Ec.5). Este Índice Medioambiental abre una puerta real para poder medir y comparar el nivel de actuación e integración medioambiental de una industria en todos los Omniversos, ubicada en un espacio y tiempo determinado, respecto a otra industria similar, según lo estime la implantación de la metodología y las condiciones mismas de la industria, así como también sus posibilidades técnicas, logísticas y económicas.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se definió la formula del Índice Medioambiental que permite cuantificar, en un intervalo de tiempo específico, la Evaluación del Desempeño Medioambiental para la Industria de Puertas de Madera y Productos Forestales (EDMn_{dAI-IP(t-0-n)}), a partir

del Diseño Ambientalmente Integrado y la Integración Ambiental Total.

- La formula parte de toda una serie de consideraciones teóricas que permiten representar un modelo gráfico bajo una concepción holística del Omniverso y sus diferentes niveles. Así, y a partir de un análisis detallado de la multiplicidad de variables, factores y aspectos que se dan en ellos, se puede cuantificar y llegar a la valoración final, que incluye, entre otras: Análisis de ciclo de vida; Estudios de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas para cada nivel de Omniverso; Interrelación con las Políticas, Planes y Programas de la Administración y la industria evaluada; Definición de los impactos negativos y positivos más importantes, y la posterior y oportunas tomas de decisión para la corrección y mejora; etcétera.

- Se recomienda el desarrollo posterior de una consulta a Expertos para la definición cuantitativa de los coeficientes (ψ) de importancia de cada factor, que participa en la fórmula del Índice Medioambiental de EDM. Por igual, su aplicación a un trabajo concreto para definir la validez de la propuesta planteada en el presente trabajo.

6. AGRADECIMIENTOS

A todo el personal académico, técnico y administrativo del Departamento de Proyectos de Ingeniería y al Centro de Formación de Postgrado de la Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAPUZ, S. 1999. *Introducción al proyecto de Producción. Ingeniería Concurrente para el Diseño de Producto*. Colección Libro Docente. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. 218 p.
- CLOQUELL, V. 2006. El Efecto de las Energías Alternativas sobre la Evolución del Entorno. Jornadas de clausura del Proyecto Biodiversidad. Centro de Formación de Postgrado. Universidad Politécnica de Valencia. 23 de Marzo del 2006. Valencia, España. 94 p.
- CLOQUELL, V. A. 2003. *Propuesta Metodológica para la validación previa de indicadores y funciones de valor en el problema unificado de localización y Evaluación del Impacto Ambiental de Proyectos*. Tesis Doctoral. Departamento de Proyectos de Ingeniería. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España. 275 p.
- CLOQUELL, V., CONTRERAS W., y M. OWEN DE CONTRERAS . 2004. Del diseño para el medio Ambiente (DFE) al Diseño Ambientalmente Integrado (dAI): una propuesta de cambio conceptual. Ponencia MARNS-14. VII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos AEIPRO. Pamplona, España. 198 p.
- CONTRERAS W., y V. CLOQUELL. 2006. *Propuesta Metodológica de Diseño Ambientalmente Integrado (dAI), aplicada a Proyectos de Diseño de productos forestales laminados encolados con calidad estructural*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. 615 p.
- GÓMEZ-OREA, D. 1999. *Evaluación del Impacto Ambiental. Un instrumento preventivo para la gestión ambiental*. Ed. Agrícola Española. Madrid, España. 192 p.
- GÓMEZ-OREA, D. 2002. Integración Ambiental de Proyectos. Ingeniería. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. *Revista de Proyectos de Ingeniería* 1: 41-64.
- GÓMEZ-OREA, D. 2003. Integración Ambiental de Proyectos. Fundamentos y caos. Seminario de la Integración Ambiental de Planes, Proyectos y Productos. Ponencia 7029/1. Universidad Internacional Menéndez Pelayo. Tomo I: 1- 11.
- GÓMEZ-SENENT, E. 1998. *La Ciencia de la Creación de lo Artificial. Un Paradigma para la Resolución de Problemas*. Colección Ciencia e Ingeniería. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. 205 p.
- GÓMEZ-SENENT, E. 2002. Una aproximación a la Resolución de Problemas en Proyectos. *Revista de Proyectos de Ingeniería* 1: 65-111.
- NORMA ISO 14.031:1999. 1999. *Evaluación del desempeño ambiental del sistema de gestión ambiental y su relación con el medio ambiente*. AENOR. Madrid, España. 32 p.
- OWEN DE CONTRERAS, M. E. 2006. *Propuesta Metodológica para la Evaluación del Desempeño Medioambiental de la Industria de Puertas y Ventanas elaboradas con Madera y Productos Forestales*. Tesis Doctoral. Departamento de Proyectos de Ingeniería. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España. 376 p.
- YARWOOD, J.M. y P.D. EAGAN. 2000. *Design for the Environment, a competitive adge for the future*. Minnesota Office of Environmental Assistance. Minnesota. U.S.A. 192 p.