



## EL DISEÑO AMBIENTALMENTE INTEGRADO (dAI)

## PROPUESTA DE ÍNDICE MEDIOAMBIENTAL PARA DETERMINAR EL NIVEL DE ECOEficiENCIA DE UN PRODUCTO INDUSTRIAL

W. CONTRERAS MIRANDA <sup>(\*)</sup>, V. CLOQUELL BALLESTER, M. OWEN DE CONTRERAS

### Abstract

*Although it is certain that the period understood from beginnings of the XX century until the current times, it has been significant regarding the damage caused to the environment in general, product of the industrial activities, demographic explosion, urbanism infrastructures, amplification of the agricultural frontier, etc. It is not also less certain than that same destruction it has caused the increase of knowledge in order to pay that difficult situation of environmental crisis, legislations, institutions and concern in good part of the modern society, especially, in users, managers and authorities. The biggest challenge that is presented to achieve the Sustainable Development is to deepen that cultural change and to translate it in actions to reestablish a healthy balance among economy, nature and society. The industrial factory of products to satisfy necessities, among other, of comfort, security, put in an urgency situation to the Science of the Project in order to find pragmatic technical tools that make possible the analysis and quantification of the global impacts that are happened through the whole cycle of life of a product. The present work exposes the proposal of the Design Environmentally Integrated (dEI), conceived from the Total Environmental Integration, become an environmental index that, starting from a mathematical equation, it determines the level of Ecoefficiency of an industrial product, being able to be a comparison measure regarding other standards, besides labelling products industrially sustainable. Their application implies to analyze and to evaluate the most significant impacts considering all the design factors, weaknesses, strengths, opportunities and threats, starting from technical of multicriterion decision and Analysis of Cycle of Life. Finally, it was determined with success the total value of the environmental index of dEI in a Project of Design of a laminate forest product with structural quality, that which demonstrates their projection to any industrial product.*

**Key words:** Environmental index, Sustainable Development, Science of the Project Environmental Integration, laminate forest product.

### Resumen

*Si bien es cierto que el periodo, comprendido desde comienzos del siglo XX hasta los tiempos actuales, ha sido significativo respecto al daño ocasionado al medio ambiente en general, producto de las actividades industriales, la explosión demográfica, las infraestructuras urbanísticas, la ampliación de la frontera agropecuaria, etcétera, también no es menos cierto que esa misma destrucción ha causado el aumento de conocimientos a fin de solventar esa difícil situación de crisis medioambiental, legislaciones, instituciones y preocupación en buena parte de la sociedad moderna, especialmente, en usuarios, empresarios y autoridades. El desafío más grande que se presenta para lograr el Desarrollo Sostenible es profundizar ese cambio cultural y traducirlo en acciones que restablezcan un sano equilibrio entre economía, naturaleza y sociedad. La manufactura industrial de productos para satisfacer necesidades, entre otras, de confort, seguridad, coloca en una situación de premura a la Ciencia del Proyecto a fin de encontrar herramientas técnicas pragmáticas que hagan posible el análisis y cuantificación de los impactos globales que se suceden a través de todo el ciclo de vida de un producto. El presente trabajo expone la propuesta del Diseño Ambientalmente Integrado (dAI), concebido desde la Integración Ambiental Total, transformado en un índice medioambiental que, a partir de una ecuación matemática, determina el nivel de Ecoeficiencia de un producto industrial, pudiendo ser una medida de comparación respecto a otros estándares, además de etiquetar productos industrialmente sostenibles. Su aplicación implica analizar y evaluar los más significativos impactos en todos los factores de diseño, debilidades, fortalezas, oportunidades y amenazas, a partir de técnicas de decisión multicriterio y Análisis de Ciclo de Vida. Finalmente, se determinó con éxito el valor total del índice medioambiental del dAI en un Proyecto de Diseño de un producto forestal laminado con calidad estructural, lo cual demuestra su proyección a cualquier producto industrial.*

**Palabras claves:** Índice medioambiental, Desarrollo Sostenible, Ciencia del Proyecto, Integración Ambiental, producto forestal laminado.

### 1. Introducción

El presente trabajo procura proyectar la propuesta del Diseño Ambientalmente Integrado (dAI), ya no como un concepto, sino como el desarrollo concreto de una formulación matemática, que permita definir al dAI como un índice medioambiental para la cuantificación de los múltiples factores que pueden llegar a sucederse en la concepción global del Proyecto de Diseño de un producto industrial. Específicamente, esta propuesta se desarrolla en un primer escenario dentro del sector forestal, como lo es la Industria Mecánica Forestal de la Madera Laminada Encolada. Esta formulación matemática puede llegar a ser aplicada a otros productos industriales, debiéndose definir previamente los coeficientes de impacto de cada factor (ambiental, tecnológico, económico, etcétera), mediante un panel de Expertos y según sean las características propias del ciclo de vida de un determinado producto industrial que se pretende diseñar.

Así, con el valor alcanzado del dAI como índice medioambiental se pueden lograr varias cosas. La primera, que el Proyectista, en plena labor multidisciplinaria, desde su estudio de trabajo, podrá exponer al industrial que le contrata que el nuevo producto industrial, además de cumplir con la normativa y ser favorable en la proyección de costos, es un producto con altas prestaciones desde el punto de vista medioambiental, es decir, que su nivel de ecoeficiencia es excelente. Segundo, que la industria puede hacer eco de estos logros a los consumidores del producto, así como a la sociedad en general, razón por la

cual le generará mayores beneficios indirectos desde el punto de vista de marketing, tales como: mejora de su imagen, oferta de productos sostenibles industrialmente, reciclables, precios competitivos, mejores prestaciones técnicas y estéticas, mayor integración y procura de beneficios sociales a sus trabajadores y comunidades implicadas en las zonas de obtención de las materias primas, disminución en el consumo de energía, etcétera. Todo dentro de los preceptos que promulga la Ecología Industrial, la Integración Ambiental Total y la Ciencia del Proyecto.

Finalmente, dado el déficit de indicadores ambientales e índices medioambientales en el sector forestal internacional, la formulación del Diseño Ambientalmente Integrado (dAI) viene a proyectarse como un índice medioambiental para la valoración del nivel de sostenibilidad que pueda llegar a alcanzar, en el proceso de diseño y manufactura, un determinado producto forestal; caso específico en el presente trabajo, el dAI de un producto forestal laminado con calidad estructural.

## 2. Objetivo general

Desarrollar una propuesta de formulación matemática, que permita definir el fundamento pragmático del Diseño Ambientalmente Integrado (dAI), para productos industriales, especialmente, como un índice ambiental para la cuantificación de los múltiples impactos a través del ciclo de vida de los productos forestales laminados encolados con calidad estructural.

## 3. Metodología

Para el desarrollo del presente trabajo se hace 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) [1] [2]. Esta propuesta metodológica ayuda a la resolución de problemas de cualquier naturaleza o tipo (simple y complejo), estando especialmente indicada para la resolución de problemas complejos con una mediana o elevada exigencia de contenido y respuesta innovadora. Además, esta metodología permite la planificación programada y secuencial de

cada una de las principales interacciones del problema:

- Fases (Correspondencia con el objetivo general del trabajo).
- Metaproyecto (entes, instituciones, etcétera).
- Factores (El dAI contempla que se deba involucrar en un Proyecto de Diseño la mayor multiplicidad de factores intrínsecos y extrínsecos que pueden participar en un Proyecto de Diseño de un producto forestal).
- Técnicas (Desarrollo de encuestas para determinar los coeficientes y pesos de impactos en cada proceso industrial, análisis estadísticos, de revisión bibliográfica e informática, de representación gráfica, etcétera).
- Instrumentos (herramientas, equipos, etcétera).
- Procesos (visión y misión del proyecto, revisión del Estado del Arte, desarrollo, redacción final, cierre del proyecto).

## 4. Resultados y Discusión

Ya Cloquell et al. (2004) [3] y Contreras y Cloquell (2006) [4] pudieron definir la concepción filosófica de lo que implica el significado del Diseño Ambientalmente Integrado (dAI), y que el mismo no pretende en ningún momento suplantar el concepto del Ecodiseño, sino que sólo es una proyección conceptual más amplia y que se logra adaptar a una sociedad moderna muy dinámica, cambiante y globalizada, en la que el rol futuro del diseño de productos,

procesos de manufactura y servicios del sector industrial y productivo internacional, respecto al medio ambiente y la sociedad en general, tienda a establecerse de la manera más equilibrada, justa y armónica, como una garantía al establecimiento a corto plazo del Desarrollo Sostenible global.

Entonces, el «Diseño Ambientalmente Integrado (dAI) para un producto industrial es una herramienta metodológica holística de diseño que permite considerar y cuantificar, como índice ambiental, el nivel de Desarrollo Sostenible del mismo, en relación con el Desarrollo Científico-Tecnológico a lo largo del tiempo en que transcurre su ciclo de vida, en plena integración con el medio ambiente, alcanzada desde: el mayor nivel de satisfacciones, tanto para el proyectista como para el promotor industrial; en las prestaciones físicas y sensoriales del usuario; los factores intrínsecos y extrínsecos de la sociedad y el sector industrial, enmarcadas dentro de los principios del Desarrollo Sostenible, la Integración Ambiental y la Ecología Industrial en un todo equilibrado, armónico, proactivo, participativo y cambiante ecosistémicamente entre el desarrollo industrial, las legislaciones, la innovación económica-científica-tecnológica, y la ética en la actuación de todos los actores involucrados y el medio ambiente».

Este concepto del Diseño Ambientalmente Integrado (dAI) se plasma de



Figura 1. Representación gráfica del dAI de un producto pfml 1 respecto al dAI del producto ideal 1'. La parábola es sólo la representación gráfica del entorno y espacio particular del producto. El tiempo ( $t_0$ ) es cero. Fuente: Elaboración propia.



# enfoque

manera gráfica y matemática en la Fórmula (1) y en la Figura 1. Desde un contexto más técnico y menos filosófico, es importante resaltar que el Ecodiseño o Diseño Respetuoso con el Medio Ambiente (DFE) según Capuz y Gómez (2002) [5], es una metodología de diseño que deriva del modelo de producción y organización empresarial denominado «Ingeniería Concurrente» y tiene por objeto el diseño de productos y procesos industriales considerando, para reducirlo, el impacto medioambiental producido durante el ciclo de vida. En otras palabras, el Ecodiseño es la principal herramienta de aplicación para alcanzar la Ecoeficiencia de las industrias. Un instrumento del Ecodiseño, y por igual del dAI, es el Análisis del Ciclo de Vida del producto. Existen autores como Bastante et al. (2003) [6], que han desarrollado importantes planteamientos matemáticos que

permiten identificar la etapa de mayor impacto en el ciclo de vida de un producto industrial. Por otro lado los autores del presente trabajo han desarrollado con éxito, en una primera instancia, la propuesta de un método de análisis de ciclo de vida, denominado ACV-COCLOWEN aplicado al Sector Forestal.

Dado lo anteriormente expuesto y retomando los efectos de los impactos en la consecución del Desarrollo Sostenible y tratando de alcanzar una visión más holística, tal como lo exige el Diseño Ambientalmente Integrado (dAI), se propone a continuación el desarrollo matemático que permite transformar este concepto en una herramienta pragmática de uso como lo es un indicador ambiental aplicado, en esta oportunidad, a un producto forestal de madera laminada con calidad estructural cualquiera (PFML<sub>n</sub>):

El resultado que se obtenga del Coeficiente de Integración Medioambiental (!) de un PFML<sub>n</sub> en la medida en que se acerque al valor 1, el producto propuesto se acerca al valor del producto ideal diseñado, es decir; se logran los objetivos de una excelente calidad en propiedades, prestaciones, estética y costos, así como un alto nivel de sostenibilidad del producto forestal. Si el valor (!) está muy distante del el producto diseñado no cumple con los requisitos del producto ideal, por lo que se deben evaluar con mayor detalle técnico los posibles cambios en el diseño y procesos de manufactura del producto diseñado.

Lo que se busca es acercarse por mejora, entre otros, los procesos, el uso de materias primas sostenibles, disminución de gastos de energía, residuos y emisiones, entre otros, para que el valor del dAI del producto diseñado (PFML<sub>n</sub>)

El  $DS_{PFML_n}$  = Desarrollo Sostenible del producto PFML 39. Formula 1

$$DS_{PFML_n} = \sum_{i_1}^{i_n} [\pm (Imp.Amb.Ind._1) \times \psi, \pm (Imp.Tec._2) \times \psi, \pm (Imp.Econ._3) \times \psi, \dots \pm (Imp.n_n) \times \psi] \quad (1)$$

Donde:  $i_1 = Imp.Amb.Ind._1$ ;  $i_2 = Imp.Tec.Ind._2$ ;  $i_n = Imp.n_n$  (otros factores), todos normalizados antes de ser multiplicados por el coeficiente  $\psi$ . Estos valores han sido determinados para la Industria Mecánica Forestal, según sea el factor; en el trabajo de Contreras y Cloquell (2006) [4].

Entonces, el Diseño Ambientalmente Integrado de un producto PFML<sub>n</sub> gráficamente se determina según la definición del área del triángulo (Figura 1), que estaría en concordancia con el resultado de la Formula (3):

$$dAI_p = \frac{T_{f_{cvp}}}{T_0} f(t) dt = \quad (2)$$

$$\frac{DSp \times (T_{f_{cvp}} - T_0)}{2} \quad (3)$$

El Coeficiente de Integración Medioambiental del Producto (!), que es el valor que indicará cuán mejor o peor es el producto evaluado respecto al producto ideal ( $dAI_{pi}$ ), es decir 1, aplicando la razón matemática (Fórmula 4), donde el Diseño Ambientalmente Integrado del producto ideal ( $dAI_{pi}$ ),

cuyo valor es definido mediante proceso paralelo según las condiciones tecnológicas del contexto donde se fabrique.

$$e = \frac{dAI_p}{dAI_{pi}} \quad \text{donde el } dAI_{pi} \text{ debe ser lo más próximo a 1} \quad (4)$$

La demostración matemática de la Fórmula (3), es la siguiente:

Entonces:  $dAI = \int_{T_0}^{T_{f_{cvp}}} f(T) dt \quad (2)$

donde:  $f(T) = m (T_0) + b \quad (A)$

sustituyendo  $\square DSp = m (T_{f_{cvp}}) + b \quad (B)$

Si se multiplica por (-1) y se suman (A) y (B) y resolviendo,

la ecuación de la recta del dAI:  $f(T) = \frac{\square DSp (T_{f_{cvp}} - T)}{T_{f_{cvp}} - T_0} \quad (3)$

Al realizar la demostración matemática, se ha partido de las Fórmulas (2) y (3), y por el proceso matemático de integración, factor común y simplificación de ecuaciones se llega nuevamente a la Fórmula (3).

a partir del área del triángulo, que abstrae la valoración del ciclo de vida del producto, especificada por las Fórmulas 3 y 4. La valoración del dAI viene dada por medio del área del triángulo, la cual es definida a partir del Desarrollo Sostenible del producto (DSp) y en el tiempo en que transcurre su ciclo total de vida (Tiempo inicial y tiempo final). La Figura 1 es sólo una referencia gráfica de comparación entre productos industriales, a fin de facilitar a los técnicos y personas comunes de la sociedad, qué producto es mejor que otro y en qué medida se acerca al producto ideal (pfml'). Por considerar que el dAI es un índice ambiental, a partir de esa valoración el mismo puede llegar a ser usado como etiqueta certificadora del nivel de sostenibilidad de un determinado producto industrial.

Su ciclo de vida está en relación al desarrollo sostenible de ese producto (DSp<sub>n</sub>), ubicado dentro de un espacio (e<sub>n</sub>), tiempo (t<sub>0</sub> y T<sub>f</sub>) y entorno (e<sub>n</sub>) definidos, con todas las implicaciones que se inician con los impactos positivos y negativos generados desde la obtención, traslado y transformación de la materia prima hasta el sitio final de uso, llamados Niveles de Impacto medioambientales de los Productos (Figura 2). Al aplicar la Fórmula 4 del Coeficiente Medioambiental del Producto (e) al ejemplo hipotético de la Figura 1, se puede apreciar que el valor de (e = 1532/250) es 0,16 el cual indica que está muy distante de 1, por la cual se debe re evaluar con mayor rigurosidad técnica el producto pfml', ya que está presentando en algún aspecto del diseño,

o del proceso, grandes deficiencias técnicas y medioambientales.

Estas pueden llegar a ser las razones por las cuales el equipo de Proyectistas, en un momento dado, deba tomar decisiones a fin de desechar el diseño propuesto, mejorarlo o empezar de nuevo el proceso de diseño para buscar una mejor alternativa acorde con los intereses de la industria y el mercado. Otro elemento gráfico de analizar en la Figura 1 es la connotación que genera la parábola (que pudiera ser una curva descendente), la cual se inicia desde el valor del DSp ideal hasta el final del ciclo de vida del producto. Esto lo que intenta señalar gráficamente es que todo el ciclo de vida del producto está circunscrito en un espacio y entorno muy particular donde se desarrolla el mismo. La Figura 3 muestra la aplicación del dAI a un producto A y su rediseño A'.

Explícitamente, la Figura 3 representa el caso técnico cuando una empresa cualquiera decide rediseñar el producto A con un dAI (1600), al momento en que éste está en su cúspide comercial y antes de que sea desplazado por otro producto comercial de la misma categoría, en un tiempo determinado, se da el nuevo proceso para el producto A', con su dAI<sub>A'</sub> (2750), el cual mejora sus prestaciones por estar más cerca del valor del dAI del producto ideal. Por otro lado, la Figura 4 expone cuando un producto arroja una valoración negativa del dAI, y que al ser mejorado en su proceso de diseño el valor del Coeficiente de Integración Medioambiental (!= 0,93) arrojó un valor excelente y con alto nivel de

sostenibilidad del producto B'.

Otra característica que se puede extraer de los gráficos, considerados como modelos del dAI, es que muestra los diferentes niveles ascendentes de I+D de los productos industriales, permitiendo determinar para cada producto nuevo, con su rediseño, la ubicación en su espacio, tiempo y desarrollo tecnológico el dAI<sub>n</sub> de cada producto, así como su comparación cuantitativa y su nivel de sostenibilidad con el Coeficiente Integración Medioambiental.

Finalmente, todo el anterior contexto hace indicar que un producto al cual se le determine su índice ambiental de dAI, es un producto forestal que, a la vista de toda la sociedad, puede ser un producto que está en plena sintonía y comprometido realmente con toda la concepción de la cultura del Desarrollo Sostenible global. Otro hecho importante es que, desde el punto de vista del marketing, la figura del triángulo, previo diseño gráfico, puede llegar a ser utilizado como el símbolo del índice ambiental dAI, como la Etiqueta Certificada del producto. Siendo una excelente referencia, una vez que el producto esté a la venta,

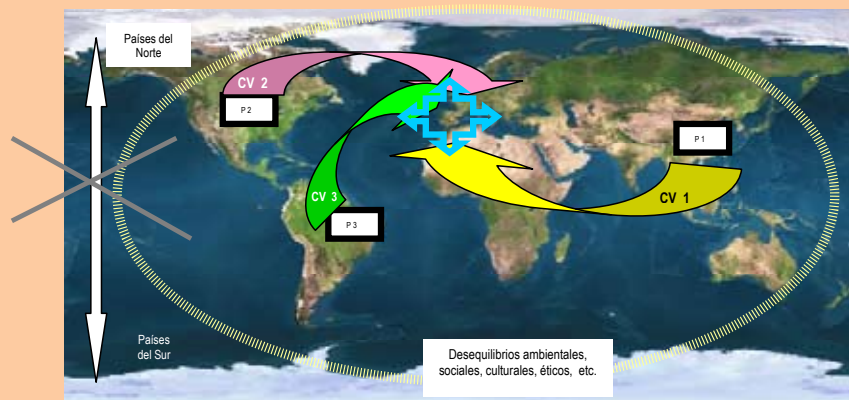


Figura 2. Sectorización geográfica de los Niveles de Impacto Medioambiental de los Productos, debidos al desarrollo negativo del Ciclo de Vida de un Producto. El tiempo (t<sub>0</sub>) es cero. Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. Representación gráfica del dAI de un producto A respecto a su dAI del producto ideal. A su vez se expone la comparación del mismo producto con el producto rediseñado A', el cual según la valoración del índice ambiental es mejor que el primero. El tiempo (t<sub>0</sub>) es cero. Fuente: Elaboración propia.





para que el usuario sea consciente del grado de Integración Ambiental del mismo respecto al medio ambiente y al resto de factores que influyen en su producción industrial. A modo de ejemplo, se representa la Figura 5, a partir del dAI del producto B' de la Figura 4.

## 5. Conclusiones y Recomendaciones

• Se cumplió el objetivo principal de la investigación al desarrollar la definición matemática y representación gráfica del Diseño Ambientalmente Integrado (dAI) de productos industriales, dentro de una visión holística de la Integración Ambiental Total (IA<sub>T</sub>), en pro de

alcanzar una mayor ecoeficiencia del sector industrial, especialmente el de la Industria Forestal, en plena integración con el medio ambiente.

- Se recomienda, entre otros, utilizar en la presente Tesis Doctoral, el concepto y la propuesta matemática del dAI al caso específico de un producto forestal laminado ecoinnovador con calidad estructural.
- Se recomienda, ante el gran déficit de indicadores medioambientales existentes en la Industria Forestal, y especialmente de los índices ambientales que sirvan para evaluar sistemas estructurales con madera y el diseño de nuevos productos forestales, la definición de los principales ecoindicadores y coeficientes

de ecoeficiencia medioambiental para cada uno de los factores señalados en la concepción de la fórmula matemática del dAI. La misma, se puede adaptar a cualquier producto forestal e industrial, los cuales contribuirán a determinar el desarrollo sostenible del producto (DS<sub>p</sub>) en un tiempo determinado.

- Se recomienda desarrollar una metodología que permita aplicar el Diseño Ambientalmente Integrado (dAI) para la realización de Proyectos de Diseño de productos forestales laminados con calidad estructural, así como a otros productos industriales, a fin de ampliar su contexto de aplicación general al diseño industrial de productos.

## 6. Referencias.

[1] Gómez-Senent, E., «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, 1998.

[2] Gómez-Senent, E., «Una aproximación a la Resolución de Problemas en Proyectos». Revista de Proyectos de Ingeniería. Ingeniería. N° 1.2002, pp: 65-111.

[3] Cloquell, V., Contreras W., y Owen de Contreras M., «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 AEI PRO. Pamplona, España. 2003.

[4] Contreras W., y Cloquell V. «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, 2006.

[5] Capuz S., y Gómez, T., «Ecodiseño. Ingeniería del ciclo de vida para el desarrollo de productos sostenibles». Editorial Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España, 2002.

[6] Bastante, M° J, Gómez T., Viñoles R., Ferrer P., Capuz S., Identificación de la etapa de mayor impacto en el ciclo de vida de un producto industrial. Ponencia 03-16. VII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos AEI PRO. Pamplona, España, 2003.

## 7. Agradecimientos.

Los autores quieren agradecer todo el apoyo recibido por parte del 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.

## 8. Correspondencia.

Para mayor información, contacte con: Wilver Contreras Miranda. Departamento de Proyectos de Ingeniería. Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera, s/n, 46022. Teléfono: +34963879172. Fax: +34963879173. Valencia, España. Email: [wilvercontrerasmiranda@yahoo.es](mailto:wilvercontrerasmiranda@yahoo.es)

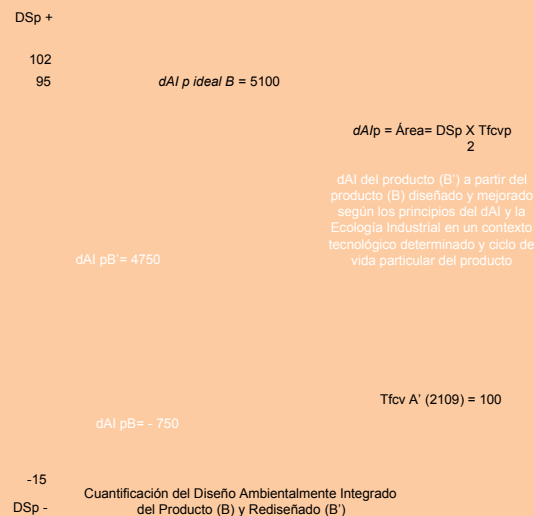


Figura 5. Representación, como Etiqueta de Certificación, de un posible símbolo representativo del dAI (4750) de un producto industrialmente con un alto nivel de sostenibilidad por medio de su Coeficiente de Integración Medioambiental (e=0,93). Fuente: Elaboración propia.



Figura 4. Representación de la valoración según el índice ambiental de un producto cuyo dAIpB ha dado negativo (-750), y que posteriormente, reiniciado el proceso de diseño y mejorando materiales, procesos, etc., el valor del nivel de sostenibilidad dio positivo muy cercano al valor del dAI del producto ideal (dAI pB' = 4750). Fuente: Elaboración propia.