

# CAMBIO TECNOLÓGICO Y EFICIENCIA DE RECURSOS EN EL SECTOR MANUFACTURERO DEL GRAN BUENOS AIRES

Herrería, Elisabeth Ruth\*, Jäger, Mariano Daniel

*Instituto de Medio Ambiente - Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas,  
Universidad Nacional de La Matanza*

*Florencio Varela 1903, San Justo. Buenos Aires, B1754JEC. [eherreria@unlam.edu.ar](mailto:eherreria@unlam.edu.ar).  
[mariano@jager.com.ar](mailto:mariano@jager.com.ar)*

## RESUMEN

Actualmente, la mayoría de los estudios aplicados sobre cambio tecnológico en el sector manufacturero se centran principalmente en desarrollar metodologías cuyo énfasis recae en cuantificar los efectos del mismo sobre la productividad del sector y sobre los factores internos y externos que contribuyen a la mejora de la productividad a nivel de la firma sin examinar las implicancias ambientales de los mismos.

Asimismo, las concepciones tradicionales de cambio tecnológico, difusión y apropiación de tecnologías e introducción de mejoras tecno-productivas en la industria se basan en concepciones economicistas que cuantifican la eficiencia de los recursos utilizados sin ponderar sus externalidades ambientales o sociales.

Sin embargo, la adopción y difusión de tecnologías que conforman los procesos de cambio tecnológico no necesariamente implican una reducción de los impactos ambientales de los procesos y productos elaborados por el sector manufacturero, contradiciendo el principio generalmente aceptado de que todo cambio tecnológico es positivo. En nuestro caso claramente, la catalogación de positivo debería implicar una contribución a promover patrones de producción sustentable, situación que no necesariamente acontece.

Es dentro de este marco conceptual que estamos ejecutando un proyecto de investigación cuyo objetivo principal es desarrollar un índice de eco-eficiencia para evaluar las trayectorias de los cambios tecnológicos desde parámetros de eficiencia ecológica de la producción industrial, en un contexto local como lo es el conglomerado urbano industrial del Gran Buenos Aires.

Por consiguiente, el propósito de este trabajo es presentar los avances en el desarrollo del índice de eco-eficiencia de los procesos productivos en el sector manufacturero del Gran Buenos Aires para cuantificar los niveles de intensidad ambiental de la producción manufacturera en éste aglomerado industrial.

**Palabras Claves:** eco-eficiencia, cambio tecnológico, impacto ambiental.

## 1. INTRODUCCIÓN.

En la propuesta original del proyecto de investigación del que deriva este trabajo se planteó desarrollar un índice que permitiera cuantificar los niveles diferenciales de eco-eficiencia de los procesos productivos en las ramas del sector manufacturero que han experimentado un proceso de cambio tecnológico sustantivo durante el último decenio en el conglomerado industrial del Gran Buenos Aires.

No obstante, y debido a que se carece de información de base sobre cuáles han sido esos sectores, tanto a nivel nacional como provincial, se decidió elaborar un índice de eco-eficiencia no directamente asociado a la trayectoria real del cambio tecnológico, sino en relación a la tecnología actualmente disponible en las distintas ramas manufactureras localizadas en la mencionada área geográfica.

Por lo tanto, el índice que se procura desarrollar en esta etapa del proyecto de investigación no podrá dar cuenta del impacto ambiental de las trayectorias del cambio tecnológico de los procesos productivos de las ramas manufactureras.

Para compensar esta carencia de información de base con respecto al contenido tecnológico en el sector manufacturero local, la clasificación sectorial según nivel de intensidad tecnológica que desarrolló la Organización de Cooperación para el Desarrollo Económico (OCDE) en el año 2001, resulta ser apropiada para caracterizar las distintas ramas manufactureras en función del desarrollo de sus trayectorias tecno-productiva. De acuerdo a esta clasificación, los sectores industriales pueden ser clasificados como de alta tecnología, de media-alta tecnología, de media-baja tecnología y de baja tecnología según las intensidades directas de I+D calculadas a partir del valor de la producción y del valor agregado. La Tabla 1 permite a simple vista identificar que los sectores manufactureros vinculados con la producción de bienes de bajo valor agregado exhiben un contenido tecnológico caracterizado por magros niveles de esfuerzos de inversión en I+D en comparación con aquellos categorizados como de alta a media alta tecnología.

Tabla 1 *Clasificación de las actividades industriales según intensidad tecnológica. OCDE, 2001. Basada en la Clasificación Internacional Industrial Uniforme Revisión 3 (CIIU Rev.3)*

|   |  |
|---|--|
| <p><b>Alta tecnología</b><br/>           353.Fabricación de aeronaves y naves espaciales 353<br/>           30.Fabricación de maquinaria de oficina, contabilidad e informática 30<br/>           32.Fabricación de equipo y aparatos de radio, televisión y comunicaciones 2423. Industria farmacéutica<br/>           33.Fabricación de instrumentos médicos, ópticos y de precisión</p>  | <p><b>Media-alta tecnología</b><br/>           34.Fabricación de vehículos automotores, remolques y semi-remolques<br/>           24-2423.Fabricación de sustancias y productos químicos<br/>           29.Fabricación de maquinaria y equipo mecánico n.c.p<br/>           31.Fabricación de maquinaria y aparatos eléctricos n.c.p<br/>           352+359.Fabricación de material ferroviario y otro material de transporte</p>  |
| <p><b>Media-baja tecnología</b><br/>           26.Fabricación de otros productos minerales no metálicos<br/>           23.Fabricación de coque, productos de la refinación del petróleo y combustible nuclear<br/>           351.Construcción y reparación de buques y otras embarcaciones<br/>           28.Fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo<br/>           27.Fabricación de metales comunes<br/>           25.Fabricación de productos de caucho y plástico</p> | <p><b>Baja tecnología</b><br/>           21+22.Fabricación de papel y productos de papel y actividades de edición e impresión y de reproducción de grabaciones<br/>           15+16.Elaboración de productos alimenticios, bebidas y de productos de tabaco<br/>           20.Producción de madera y fabricación de productos de madera y corcho, excepto muebles<br/>           17+19. Fabricación de productos textiles, curtido y terminación de cueros; fabricación de artículos de marroquinería; calzado<br/>           36+37.Fabricación de muebles y colchones, industrias manufactureras n.c.p. y reciclamiento</p> |

Independientemente de las limitaciones que la propia OCDE ha reconocido en la metodología de categorización basada en indicadores del gasto en I+D, resulta pertinente caracterizar al menos a nivel cualitativo el contenido tecnológico de los distintos sectores manufactureros para comprender

algunos aspectos que serán retomados en el desarrollo del marco conceptual y metodológico del índice de eco-eficiencia a desarrollarse en esta etapa del trabajo de investigación.

## **2. CAMBIO TECNOLÓGICO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA Y DE RECURSOS EN LA ACTIVIDAD INDUSTRIAL: ANTECEDENTES Y ESTADO DE SITUACIÓN.**

En el marco del proceso de liberalización comercial de los años 90, los flujos de inversión extranjera directa inducidos por aquellos sectores con mayor dinamismo influyeron drásticamente en la trayectoria del cambio tecnológico del sector manufacturero nacional, generando un proceso acelerado de incorporación de tecnología de producto y de organización de la producción a un ritmo que sobrepasaba la capacidad productiva instalada.

En cuanto a las tecnologías de procesos en esa década, los desarrollos en métodos de automatización de una amplia gama de procesos industriales de bienes intermedios y finales experimentaron una expansión sostenida. Esta tendencia de cambio tecno-productivo se vio amparada por la posibilidad de importación de bienes de capital sin restricciones que operó como motor de un proceso de transferencia tecnológica basado en la adquisición equipos y equipamiento de punta.

Después de la recuperación económica experimentada en el período de post-convertibilidad, los trabajos sobre la situación del cambio tecnológico en el sector manufacturero a nivel nacional se orientaron a cuantificar los niveles de inversión en I+D en el sector manufacturero y su relación con los cambios macroeconómicos operados en los albores de la post-convertibilidad [1-5]. Después de este período de tiempo no se encuentran estudios conspicuos que analicen las trayectorias del cambio tecnológico en el sector manufacturero a nivel nacional y/o provincial.

En cuanto a la eficiencia en el uso de recursos y energía en el sector manufacturero, la disponibilidad de estadísticas y/o estudios empíricos referidos a la adopción de tecnologías de bajas emisiones (*lower-emissions technologies*), las cuales permitirían analizar la trayectoria de los procesos de difusión y su relación con el uso de recursos y energía en el sector manufacturero es, al menos al presente, inexistente. De la cantidad de consultas realizadas a distintos organismos oficiales y privados, se desprende que actualmente no se dispone en Argentina de estadísticas referidas a la adopción de tecnologías de bajas emisiones en las distintas ramas industriales.

Frente a esta falta de información, se decidió indagar cualitativamente mediante entrevistas en profundidad a informantes claves del sector manufacturero del Gran Buenos Aires acerca de temáticas relacionadas con el cambio tecnológico y la eficiencia energética y de recursos en la actividad industrial. Para las entrevistas en profundidad, se seleccionaron informantes claves de los sectores metal-mecánico y químico de actividades de media-alta tecnología que se caracterizan por ser intensivas en el uso de recursos y energía.

Del análisis de las entrevistas efectuadas se desprenden las siguientes consideraciones:

-Se percibe que la evolución del consumo de energía se presenta significativamente condicionada por los niveles de producción, más que por la productividad.

- Si bien se percibe que el gasto energético depende del volumen de producción, éste también se relaciona con ciertos cambios introducidos en el sistema de comercialización

-La principal fuente de consumo de energía es la eléctrica y no se evidencia un cambio significativo en el tipo de fuente para gran parte de los procesos productivos

-Los procesos productivos que demandan mayor consumo energético son híbridos, sin embargo se evidencia un aparente desconocimiento del valor del consumo energético (eléctrica y combustible) requerido por unidad de producto

-El valor del costo energético sobre el valor del costo de producción es marginal debido al relativo bajo precio de la energía eléctrica en contraposición con los costos laborales

-La eficiencia energética es percibida como una estrategia que permitiría producir más con menos consumo energético, mediante mejoras en la productividad

-La eficiencia en el uso de recursos es percibida de distintas maneras desde buscar estrategias para reciclar internamente ciertos subproductos a fin de reintroducirlos en el sistema interno de producción, hasta ahorrar en tiempos de parada y bajar los niveles de descarte.

-Los mayores niveles de motivación para desarrollar estrategias de eficiencia en el uso de recursos parecieran estar inducidas por los aumentos en los costos de tratamiento de residuos industriales

-Se percibe que el cambio tecnológico es una función de la información disponible y de la formación de recursos humanos, por lo tanto la inversión en recursos humanos y el acceso a la circulación de información se presentan como elementos asociados a las trayectorias del cambio tecnológico.

-Los avances técnicos y/o tecnológicos que sus clientes van experimentando hace que sus demandas sean más complejas, requiriendo ciertos niveles de innovación de las PyMEs que les proveen de productos

-Los niveles de concentración en ciertas ramas y la mayor dependencia a empresas de capitales extranjeros que son proveedoras de materias primas hace que la innovación al nivel de una PyME esté condicionado por el poder de mercado de estos actores económicos

-Los beneficios del cambio tecnológico son percibidos más allá de los aspectos de eficiencia energética y de uso de recursos, incluyendo las mejoras en las condiciones laborales, la disminución de riesgos ambientales y la masificación de nuevos productos

-Las tecnologías sustentables son concebidas como aquellas que permiten disminuir los niveles de contaminación que genera un proceso productivo

-Las principales innovaciones que se dan en sus ramas industriales están relacionadas a las mejoras por los aportes de la electrónica y microelectrónica. Se percibe como avance técnico-productivo a aquel que deviene de la integración entre los procesos mecánicos tradicionales y los aportes de la electrónica, otorgando flexibilidad a los procesos de manufactura.

-Las mayores exigencias de los controles ambientales, incluyendo la prohibición de usar ciertas sustancias tóxicas no necesariamente han ayudado a disminuir los niveles de contaminación generados por las industrias

Como Allenby y Rajesky [6] mencionan basándose en Bijker et al. [7], la tecnología es un fenómeno profundamente cultural. Por lo tanto, y reflexionando sobre el conjunto de estas consideraciones, se evidencia que el contexto socio-técnico-productivo condiciona la apropiación de tecnologías de producción que tienden a reducir las emisiones y el uso de recursos, deparando desafíos conceptuales y metodológicos en la elaboración de nuestro índice de eco-eficiencia.

### **3. DEFINICIONES DE ECO-EFICIENCIA.**

En su versión más divulgada y aceptada, eco-eficiencia es definida como el cociente resultante entre el valor económico agregado y el impacto ambiental [8-12]. Sin embargo esta simple definición encierra supuestos que necesitan ser revisados antes de la elaboración del índice que se procede a desarrollar en esta etapa del proyecto.

Si bien el término eco-eficiencia fue acuñado por los investigadores suizos Schaltegger y Sturn en 1989, su aceptación generalizada se produjo cuando el *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) en 1991 lo adoptó como un instrumento para guiar a las empresas a evaluar empíricamente los costos ambientales de sus actividades económicas con el objetivo de implementar mejoras a fin de reducir los mismos en relación a la intensidad en el uso de recursos y de energía.

Tal como Kousmanen [8] ha señalado, si bien la noción de eco-eficiencia se encuentra bien difundida y aceptada, no existe consenso en cuanto a su definición y a los criterios que la componen. En este sentido, Kousmanen [8] indica que eco-eficiencia es tanto aplicable a bienes y servicios, como a organizaciones que producen esos bienes y servicios. Por su parte, Huppés e Ishikawa [9] señalan que eco-eficiencia puede ser tanto definida en términos absolutos o en términos relativos a una situación de referencia.

En el sector manufacturero, el término eco-eficiencia aplicado a los procesos y productos industriales ha ganado en los últimos años la atención de diversos sectores sociales, desde organismos gubernamentales, asociaciones industriales, organizaciones no gubernamentales internacionales debido a que en su más amplia definición integra aspectos económicos y ambientales bajo una perspectiva en la que todos ganan o salen beneficiados (*win-win*).

#### **3.1. Enfoques y perspectivas**

Independientemente de ser un término que goza de popularidad y aceptación por parte de sectores con intereses diversos y contrapuestos, los desarrollos teóricos están básicamente asociados a la esfera multidisciplinar de la ecología industrial, por lo que resulta pertinente realizar un recorrido por los distintos supuestos tanto explícitos como tácitos manifiestos en los diferentes marcos conceptuales que se registran en la literatura especializada.

Como punto de partida de ese recorrido, resulta conveniente contextualizar el concepto de eco-eficiencia en el marco del desarrollo sustentable, y dentro del mismo situarlo en el campo de la ecología industrial.

En primer lugar, se puede señalar, siguiendo a Kousmanen & Kourtelainen [10], que la ambigüedad conceptual del término ha generado un sinnúmero de indicadores, índices y perspectivas para evaluar la eco-eficiencia. En segundo lugar, las mediciones de eco-eficiencia son relevantes porque cualquier mejora en la misma es usualmente la manera más efectiva de reducir las presiones ambientales. Y, por último, las políticas públicas destinadas a mejorar la eco-eficiencia son más fáciles de adoptar que aquellas políticas que tienden a restringir los niveles de actividad económica.

Hacia fines de los años 90, y acompañando el apogeo del Informe Brundtland, el concepto de eco-eficiencia en su versión más difundida fue interpretado como una herramienta para el desarrollo sustentable. En este sentido, se puede consentir con lo expuesto por Ehrenfeld [11] que la importancia del concepto de eco-eficiencia radica tanto desde un punto de vista práctico como

teórico dado que en el mismo es posible combinar el desempeño de las actividades económicas, en al menos dos de los ejes del desarrollo sustentable, el económico y el ambiental.

Sin embargo, Ehrenfeld [11] muestra cierta desconfianza hacia la pertinencia de considerar a la eco-eficiencia como un concepto que exprese las aristas más controvertidas del desarrollo sustentable, la equidad, el bienestar humano y la justicia social.

Es por este motivo que Ehrenfeld [11] sugiere que la noción de eco-eficiencia es sólo significativa en el contexto del modelo económico del desarrollo sustentable. Para Ehrenfeld [11], en esta representación analítica de eco-eficiencia no hay indicios palpables acerca de la posibilidad de conciliar el mantenimiento de la sostenibilidad a escala global con el presupuesto de la teoría económica tradicional que concibe la escasez de recursos como incentivo para la creación de bienes sustitutos.

Asimismo, Kousmanen & Kourtelainen [10] destacan que a diferencia de la noción de sostenibilidad, eco-eficiencia es un concepto menos vago porque en su definición más generalizada se expresa la relación existente entre el valor económico agregado y el daño ambiental. Sin embargo, la eco-eficiencia no garantiza sostenibilidad, ya que dentro del campo de la ecología industrial existe un amplio consenso acerca de la necesidad de reestructurar los actuales patrones de producción y consumo para avanzar hacia un proceso de desmaterialización de la actividad económica en términos absolutos.

No obstante estas críticas, Ehrenfeld [11] rescata ciertos aspectos positivos en relación a la medición de eco-eficiencia. Por un lado, su cuantificación enfatiza la noción de desacople o desmaterialización porque los aumentos en la actividad económica deben correlacionarse con menores impactos ambientales. Por otra parte, sugiere que siempre resultarán ventajosas mejores alternativas de producción eco-eficiente que exiguas opciones.

Desde otra postura conceptual, Huppés e Ishikawa [12] sugieren que la base de las mayores diferencias teóricas y metodológicas se debe a que bajo el concepto de eco-eficiencia se puede distinguir dos paradigmas contrapuestos que disputan su dominio en la arena de la política ambiental. Uno de esos paradigmas es liderado por el análisis costo-beneficio de larga tradición en la corriente de la economía del bienestar. El otro paradigma se encuentra representado por posturas provenientes de las disciplinas asociadas al ambientalismo y al tecnologismo ambiental.

Bajo el primer paradigma, los aspectos ambientales deben ser considerados al igual que otras condiciones que influyen sobre el bienestar social. En un sentido práctico, esto se lleva a cabo adicionando todos los efectos en un solo numerador, reflejando así el bienestar social. Es así que en esta línea de pensamiento, Huppés e Ishikawa [12] señalan que la eco-eficiencia se presenta como un paso parcial pero evitable e inoportuno porque no interesa si los efectos ambientales de una decisión son altos o bajos ya que lo sustantivo en esta perspectiva es conocer si esa decisión representa un avance hacia un máximo de bienestar.

En el segundo paradigma, Huppés e Ishikawa [12] indican que el marco conceptual de eco-eficiencia es desdeñado por un descreimiento a la noción de intercambio (*trade-off*) entre mejora ambiental absoluta y actividades productivas. Por lo tanto, realizar opciones tendientes a reducir más que a maximizar posibles mejoras ambientales es en cierta medida una oportunidad perdida.

La crítica que Huppés e Ishikawa [12] realizan a ambos paradigmas se centra en que ambos suponen la posibilidad de consensuar el nivel de bienestar social, ya que reconocen que hay un nivel deseable de calidad ambiental, el cual la sociedad en su conjunto debe definir y debe esforzarse por alcanzar. Mientras que en el primer paradigma esta aseveración se da por sentada como resultado de las preferencias privadas, en el segundo paradigma la misma viene dada por la acción colectiva de demandas sociales al sector empresarial y gubernamental.

Por otra parte, distintas variantes a los métodos de Análisis de Ciclo de Vida utilizando los paquetes de software desarrollado por diversas instituciones (Ecoindicador 99, SimaPro 7.3.3, Ecoinvent v.3), se han consolidado recientemente como modelos conceptuales y metodológicos para cuantificar la eco-eficiencia de productos y actividades productivas. Sin embargo, los mismos no están exceptuados de presentar las tensiones que se registran en torno al marco conceptual de eco-eficiencia.

A pesar de las vaguedades, contradicciones y variantes que contiene este concepto, cuantificar la eco-eficiencia permite discernir las consecuencias ambientales de las actividades de producción e identificar avances, estancamiento y/o retrocesos en la intensidad del uso de materiales y energía en los procesos de producción en relación al valor creado. Este propósito ha motivado el trabajo de investigación en curso a fin de desarrollar una metodología inicial de cuantificación de eco-eficiencia en el sector manufacturero del Gran Buenos Aires y evaluar la intensidad ambiental de la producción en este aglomerado industrial.

#### **4. DESARROLLO DEL ÍNDICE UTILIZANDO EL MÉTODO DE ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS.**

Tomando como punto de partida que la medición de eco-eficiencia está dirigida a orientar los procesos decisivos de políticas y programas para el desarrollo sustentable del sector

manufacturero, se optó por desarrollar un índice para cuantificar la eco-eficiencia del mencionado sector en base al método de análisis envolvente de datos (AED), pero adaptando ciertos aspectos del mencionado método a los requerimientos de este proyecto de investigación.

El análisis envolvente de datos (en inglés *Data Envelopment Analysis – DEA*) fue desarrollado inicialmente en 1978 por los economistas Charnes, Cooper y Rhodes [13] para medir y comparar la eficiencia de variadas unidades productivas y para realizar estimaciones de las fronteras de eficiencia de las mismas.

#### 4.1. El método de análisis envolvente de datos y su relación con la eco-eficiencia relativa.

Si bien el AED es una metodología no paramétrica sistematizada de larga tradición en el campo de los estudios económicos sobre eficiencia productiva, se ha extendido a los estudios sobre eco-eficiencia a partir del desarrollo teórico y empírico de los trabajos innovadores de Korhonen y Lupatich [14], Kuosmanen y Kortelainen [10], Zhang et al. [15] y Schuschny [16], cuyas nuevas líneas de investigación vienen orientando los desarrollos metodológicos para la cuantificación de la eco-eficiencia de productos, actividades económicas, sectores económicos, regiones y países.

Aunque la concepción de eficiencia en el AED comulga con los supuestos de la teoría económica clásica de sustitución perfecta entre insumos y productos, el método otorga cierta flexibilidad para acomodar la noción de eficiencia ecológica señalada anteriormente y para evaluar el desempeño de múltiples factores que inciden sobre la eficiencia en el uso de recursos. En primer lugar, es un método que mediante las mejores prácticas registradas permite establecer la frontera tecnológica. En segundo lugar, asume que las presiones ambientales generadas por las unidades productivas son de carácter endógeno. Y por último, este método considera posibles sustituciones entre las diferentes presiones ambientales, por lo tanto disímiles combinaciones de daño o presión ambiental pueden generar idénticos valores de comportamiento económico.

Como cualquier instrumento cuantitativo analítico para la medición y evaluación de desempeño, el AED presenta ventajas y desventajas para la evaluación de eco-eficiencia que se presentan en la Tabla 2 basada en la revisión bibliográfica efectuada.

Tabla 2 *Análisis envolvente de datos (AED)- Principales ventajas y desventajas.*

| <b>Ventajas</b>  | <b>Desventajas</b>   |
|--|--|
| A diferencia de los métodos de frontera, otorga medidas relativas de desempeño, en cuanto que mide eficiencia en relación a la mejor práctica en la muestra que no necesariamente representa la mejor tecnología disponible [10] | Como cualquier otra técnica no paramétrica, no es posible formular un test de hipótesis [16] |
| Es una metodología relativamente sencilla que permite modelar procesos operacionales para evaluar desempeño [13]   | Requiere de una muestra de unidades comparables relativamente grande [10]                    |
| Da cuenta de las posibilidades de sustitución entre diferentes criterios de desempeño y su independencia de ponderaciones agregadas subjetivas [10]  | No escapa a los problemas derivados de utilizar ponderadores [16]                            |
| A diferencia de formas estandarizadas de análisis de regresión estadística, no requiere determinar supuestos a priori. (Cooper et al. 2003?)   | Necesita de datos confiables y rigurosos [10]  |
| Como brinda una perspectiva sistémica e integrada para el desempeño de las unidades de producción bajo análisis [16], permite evaluar comparativamente las presiones ambientales de las unidades productivas                     | Se presenta sensible a los <i>outliers</i> [16]  |
| Permite revelar relaciones que podrían permanecer ocultas en   | Es altamente sensible a errores de datos y a la selección de las                             |

|   |  |
|---|--|
| otros métodos de análisis estadístico [13]  | unidades de referencia [10]  |
| No demanda especificar las relaciones formales que se suponen existen entre inputs y outputs [10] | No permite analizar la evolución en el tiempo del desempeño del comportamiento de las unidades productivas [10 y 16] |

En cuanto a la desventaja señalada de emplear un método con ponderadores, y partiendo de una visión epistémica que disputa el supuesto de neutralidad en las valoraciones, se considera que el AED muestra flexibilidad para acomodar valoraciones de ponderaciones tanto normativas como subjetivas.

Aunque el método señalado no permite construir un test de hipótesis, la intención que yace en la propuesta de este proyecto es cuantificar la eco-eficiencia en el sector manufacturero del aglomerado del Gran Buenos Aires en base a la tecnología disponible en las distintas unidades productivas que compondrán la muestra. Por lo tanto, no se requiere de una metodología que exija construir una prueba o test de hipótesis.

Si bien Schuschny [16] señala como desventaja que el método de AED no permite evaluar eficiencia en términos absolutos, se considera que la medición en términos relativos permite tener una aproximación al nivel real de eco-eficiencia en base a evidencia disponible, al evaluar la eco-eficiencia de las unidades productivas tomando en cuenta la tecnología que adopta cada una de las unidades productivas que conformarán la muestra.

#### 4.2. Construcción del índice para el sector manufacturero del Gran Buenos Aires.

Independientemente de las consideraciones teóricas planteadas previamente, y a fines operativos, se decidió optar por la definición operacional de eco-eficiencia más utilizada en este campo de estudio tal como ha sido definida por Schmidheiny y Zorraquin [17] y por Helminen [18], por la cual la eco-eficiencia de una unidad productiva es el cociente (1) entre el valor agregado y las presiones o daños ambientales de dicha actividad productiva tanto por el uso de recursos como por la deposición de residuos y contaminantes.

$$\text{Eco-Eficiencia} = \frac{\text{Valor Económico Agregado}}{\text{Conjunto de Presiones Ambientales}} \quad (1)$$

Por lo que la eco-eficiencia de una unidad productiva resultará ser un valor que oscilará entre 0 y 1, en donde valores cercano a 1 indicarán que esas unidades presentan un buen desempeño entre el comportamiento económico y el comportamiento o daño ambiental.

Pero a diferencia de emplear meros cocientes para medir la eco-eficiencia de la muestra de las unidades productivas del sector manufacturero del Gran Buenos Aires, la metodología consistirá en evaluar el desempeño económico y ambiental simultáneamente mediante el método de AED basado en la propuesta pionera de Kousmanen & Kortelainen [10]. Conviene recordar que esta metodología no da cuenta de cambios en el tiempo. Sin embargo, permite evaluar una situación de partida, y así poder contar con una línea de base para futuros estudios sobre la dinámica del cambio tecnológico en el sector manufacturero y su impacto ambiental.

Para el presente trabajo de investigación, la eco-eficiencia de una unidad productiva ( $n$ ) de la muestra resultará del cálculo de la Ecuación (2), basada en el mencionado AED, que al ser un modelo ya linealizado por tomar el inverso del cociente de eco-eficiencia, las funciones no lineales han sido reemplazadas, y en donde  $PA$  representa cada una de las variables de presión ambiental seleccionadas,  $Fp$  es el ponderador convenido para cada una de las variables seleccionadas de presión ambiental, y  $VA$  será el valor añadido o agregado de la unidad productiva.

$$EE_n^{-1} = fp_{1;2;3} \frac{PA_{n1;2;3}}{VA_n} = fp_1 \frac{PA_{n1}}{VA_n} + fp_2 \frac{PA_{n2}}{VA_n} + fp_3 \frac{PA_{n3}}{VA_n} \quad (2)$$

Inicialmente, se definirá como valor agregado ( $VA$ ) de la unidad productiva a la diferencia que resultará de los ingresos obtenidos menos los costos incurridos por insumos intermedios

En cuanto al agregado de presión o daño ambiental, se considera que es una función agregada de las presiones ambientales seleccionadas y dada por la suma ponderada de las mismas. Debido el carácter exploratorio de esta propuesta metodológica y que no existe consenso sobre cómo ponderar los distintos tipos de presiones ambientales [10, 14, 15 y 16], el método de AED ofrece la posibilidad de no requerir *a priori* ponderaciones para los distintos tipos de presiones ambientales. El método AED identifica ponderaciones que maximizan la eco-eficiencia de la unidad productiva evaluada en comparación con el resto de las unidades de referencia [16].

En cuanto a la cuantía de presiones ambientales y siguiendo las recomendaciones en la literatura consultada [10, 13, 15 y 16] se optó por incluir tres variables para representar las presiones ambientales, siendo:

$p_1$  intensidad de consumo de agua como variable *proxy* de presión sobre los recursos hídricos, y definida como volumen de agua consumida de red pública y de fuentes superficiales y subterráneas;

$p_2$  intensidad de generación de residuos peligrosos en estado sólido y líquido como variable *proxy* de presión al medio como receptor de desechos tóxicos, y expresada como volumen de desechos peligrosos en estado sólido y líquido; y

$p_3$  intensidad de generación de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) por consumo de energía como variable *proxy* de gases de aceleramiento del efecto invernadero, definido como kilogramos de dióxido de carbono generados por consumo de energía.

Si bien los impactos ambientales son considerados inconmensurables y por lo tanto resulta ilusorio generar una medida agregada de los mismos, trabajar al nivel de identificación de presiones ambientales como variables que cuantifican la intensidad ambiental de las actividades productivas se viene presentando en la literatura especializada [10 y 15] como un abordaje metodológico para evaluar en términos relativos el desempeño ambiental de las variadas formas de actividades productivas.

### **4.3. Prueba Piloto: Propuesta de validación empírica de la metodología desarrollada.**

La recolección de datos para calcular el índice de eco-eficiencia de las unidades productivas del sector manufacturero de Gran Buenos Aires se encuentra en desarrollo al momento de la presentación de este trabajo. Por lo tanto en esta sección del trabajo se presentará el plan de trabajo elaborado para esta fase del trabajo de investigación.

Al presente, se confeccionó el cuestionario inicial para la recolección de los datos, incluyendo preguntas representativas de las variables a medir a fin que las mismas sirvan como indicadores de las variables seleccionadas en el modelo. Por otra parte, el cuestionario inicial fue presentado a referentes locales del sector manufacturero para analizar las actitudes de los mismos con respecto al contenido y orden de las preguntas, detectar potenciales dificultades de interpretación como asimismo la presencia de palabras polisémicas para prevenir distorsiones y dudas en las respuestas dadas.

Aun cuando el trabajo de campo para realizar la validación empírica de la metodología propuesta se encuentra en plena etapa de desarrollo, se decidió realizar una prueba piloto a fin de evaluar el modelo bajo distintos valores a los ponderadores e imposiciones de restricción a los mismos.

Para la prueba piloto se optó por seleccionar el Sector Industrial Planificado de Alte. Brown (SIPAB) como área geográfica para la localización de las unidades productivas que compondrán la muestra. Por lo tanto, se establece como unidad de análisis a los establecimientos industriales comprendidos en el SIPAB para la etapa de prueba piloto.

En cuanto al diseño de la muestra, el mismo será probabilístico, resultando en una muestra aleatoria simple, cuyo tamaño se determinará en función de lograr un nivel de significación que equilibre aspectos de confiabilidad y restricciones operativas dentro del alcance de la prueba piloto, pero evitando pérdida de precisión.

Debido a que el cuestionario inicial testeado fue diseñado para poder ser auto-administrado, se está evaluando la posibilidad de emplear una plataforma virtual a modo de prueba para que el cuestionario sea respondido directamente on-line a fin de ahorrar tiempo y recursos considerando las limitaciones presupuestarias.

Se prevé que una vez que finalice la etapa de recolección de datos para la prueba piloto y se calculen los principales estadísticos descriptivos y se realicen pruebas de validación y confiabilidad pertinentes, se procederá a generar el programa computacional de prueba para realizar el cálculo del índice de eco-eficiencia basado en el modelo AED desarrollado en el marco de este trabajo de investigación. Respecto a la imposición de restricciones a las ponderaciones, se tomarán restricciones relativas a cada variable que integra la función agregada de presiones ambientales, lo cual también podría suponer imponer restricciones a cada una de las unidades productivas que conformarán la muestra de la prueba piloto.

## **5. REFLEXIONES FINALES.**

En este trabajo se ha señalado que la medición empírica de la eco-eficiencia en el sector manufacturero del Gran Buenos Aires es relevante para examinar conjuntamente su desempeño económico y ambiental.

También se ha indicado que el contexto socio-técnico-productivo condiciona la apropiación de tecnologías de producción que tienden a reducir las emisiones y el uso de recursos a partir del análisis de las entrevistas en profundidad realizadas en la primera fase del proyecto de investigación del que deriva este trabajo.

Además, el desarrollo de la metodología del índice de eco-eficiencia ha permitido emprender una línea de investigación que se orienta a producir evidencia empírica original para guiar los marcos de referencias de las políticas y programas de producción limpia en el contexto local.

De igual manera, la validación empírica del índice de eco-eficiencia basada en el método AED permitirá cuantificar la intensidad ambiental de los procesos productivos en relación a la tecnología actualmente disponible, para después conocer cuál es el grado de asociación o correlación entre los impactos ambientales y el desempeño de la innovación tecnológica a nivel de las unidades productivas del sector manufacturero del Gran Buenos Aires.

Por otra parte, se ha señalado en este trabajo que a nivel global la eco-eficiencia en el sector industrial y su relación con los procesos de eco-innovación se presenta como una temática convocante para estudiar a nivel práctico cómo disminuir las presiones ambientales sin restringir la actividad económica.

Asimismo, se ha observado que en el contexto local existe un desconocimiento acerca del interés práctico que puede presentar la medición de la eco-eficiencia como asimismo se ignora los beneficios en términos de competitividad industrial que tendría conocer estos datos en un marco de mayores exigencias y controles ambientales.

Sin embargo, se puede concluir que a partir de esta evidencia empírica sería posible establecer los primeros lineamientos de programas de educación ambiental en el sector para promover buenas prácticas de eco-eficiencia y generar un programa marco de eco-innovación, a partir de al menos unos primeros datos.

## 6. REFERENCIAS.

- [1] Chudnovsky, Daniel; López, Andrés; Pupato, G; Rossi, G . (2004). "Sobreviviendo en la Convertibilidad. Innovación, empresas transnacionales y productividad en la industria manufacturera", *Desarrollo Económico. Revista de Ciencias Sociales*. 175. 4. 447-468. Buenos Aires.
- [2] SECYT (2007) *Industria manufacturera Argentina. Análisis del comercio exterior según su intensidad tecnológica*. Ministerio de Ciencia y Tecnología e Innovación. Buenos Aires
- [3] Anlló, Guillermo; Lugones, Gustavo; Peirano, Fernando. (2007). "La innovación en la argentina post-devaluación, antecedentes previos y tendencias a futuro" en Bernardo Kosacoff (ed.) *Crisis, recuperación y nuevos dilemas. La economía argentina 2002-2007*. CEPAL, Santiago de Chile.
- [4] Yoguel, Gabriel; Novick, Marta; Milesi, Darío; Roitter, Sonia; Borello, José. (2004). "Información y conocimiento: la difusión de las tecnologías de información y comunicación en la industria manufacturera argentina". *Revista de la CEPAL*. 82 Abril 2004. 139-155. Santiago de Chile.
- [5] Báscolo, Paula; Castagna, Alicia; Woelflin, María Lidia. (2009). "Intensidad tecnológica e innovación en la industria manufacturera de Rosario. Evolución y perspectivas". 14° *Reunión Anual Red Pymes MERCOSUR*. Santa Fe, Argentina.
- [6] Allenby, Braden; Rejeski, Dave. (2008). "The industrial ecology of emerging technologies". *Journal of Industrial Ecology*. 12. 3. 267-269. MIT Press.
- [7] Bijker, W. E., T. P. Hughes, and T. Pinch, eds. (1997). *The social construction of technological systems*. Cambridge: MA, MIT Press..
- [8] Kousmanen, Timo. (2005). "Measurement and Analysis of Eco-efficiency: An economist's perspective". *Journal of Industrial Ecology*, 9, 4, 15-18. MIT Press.
- [9] Huppel, Gjalit; Ishikawa, Masanobu. (2005). "A framework for quantified eco-efficiency analysis". *Journal of Industrial Ecology*, 9, 4, 25-41. MIT Press.
- [10] Kousmanen, Timo; Kortelainen, Mika. (2005). "Measuring eco-efficiency of production with data envelopment analysis". *Journal of Industrial Ecology*, 9, 4, 59-72. MIT Press.
- [11] Ehrenfeld, John. (2005). "Eco-efficiency: philosophy, theory and tolos". *Journal of Industrial Ecology*, 9, 4, 6-8. MIT Press.

- [12] Huppes, Gjalt; Ishikawa, Masanobu. (2005). "Why eco-efficiency?" *Journal of Industrial Ecology*, 9, 4, 2-5. MIT Press.
- [13] Cooper, Williams; Seiford, Lawrence; Zhu, Joe. (2004). "Data Envelopment Analysis: history, models and interpretations". *International Series in Operations Research & Management Science*. 71. 1-39.
- [14] Korhonen, P J; Luptacik, M. (2004). "Eco-efficiency analysis of power plants: an extension of data envelopment analysis". *European Journal of Operational Research*. 154. 437-446.
- [15] Zhang, Bing; Bi, Jun; Fan, Ziyang; Yuan, Zengwei; Ge, Junjie. (2008). "Eco-efficiency analysis of industrial system in China: a data envelopment analysis approach". *Ecological Economics*, 68, 1-2, 306-316.
- [16] Schuschny, Andrés. (2007). "El método DEA y su aplicación al estudio del sector energético y las emisiones de CO2 en América Latina y el Caribe". *CEPAL - Serie estudios estadísticos y prospectivos N°46*. 1-53. Santiago de Chile.
- [17] Schmidheiny, Stephan; Zorraquin, Federico. (1996). *Financing change: the financial community, eco-efficiency and sustainable Development*. Cambridge: MA, MIT Press.
- [18] Helminen, R.-R. (2000). "Developing tangible measures for eco-efficiency: the case of the Finnish and Swedish pulp and paper industry". *Business Strategy and the Environment*, 9 3, 196-210.