

12

**Autores:**

Mariela Rodríguez (ciencias ambientales y tecnología)

Nancy Liliana Gamba (impacto ambiental e indicadores)

Óscar Yezid Lozano (análisis de tecnología y ecoeficiencia)

Alicia Estévez de Sística (ingeniería química)

Edgar Castillo<sup>1</sup> (ingeniería química)

Eder Pedraza (ingeniería química)

Carlos Eduardo Moreno (ingeniería química)

Juan Carlos Orduz (ingeniería química)

Janneth Orduz (ingeniería química)

José Gregorio Fonseca (ingeniería química)

Israel Herrera (ingeniería química)

<sup>1</sup> Profesor Asociado, Escuela de Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander

---

# Desempeño ambiental de la tecnología en la industria colombiana

---

**Con la colaboración de:**

Consuelo Ordóñez de Rincón, Leonardo Acevedo, Jairo Puente, Edwin Suárez, Idalides Vergara, Carlos Alberto Ardila, Mauricio Torres, Elsa M. Escobar, Ximena Franco, Rodrigo Chaparro, Patsy Nadín Lizarazo.

El modelo tradicional de actividad industrial en el que procesos de producción individual toman las materias primas y generan productos para la venta y residuos para desecho, se debe transformar en un modelo más integrado, [en el que] los efluentes de un proceso [...] sirvan de materia prima para otro proceso.

**D**entro del Programa de la Agenda 21, adoptado en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo (Rio de Janeiro, 1992), se recalca la importancia de utilizar tecnologías más eficientes en los procesos productivos y en la reconversión tecnológica. También se insta a los gobiernos y a los entes claves a crear nuevos mecanismos para acelerar la transferencia de tecnologías más limpias y de tecnologías ecológicas de los países industrializados a los países en vía de desarrollo.

Se subrayó este punto instando a los empresarios de los sectores productivos a otorgar la más alta prioridad a la gestión del medio ambiente para alcanzar prácticas industriales sostenibles; urgiendo a las empresas y la industria a desarrollar técnicas y tecnologías que reduzcan los efectos nocivos de los diferentes procesos al medio ambiente, definiendo que,

“serán necesarias tecnologías nuevas y grados de eficacia y ecoeficiencia en las utilizadas actualmente para aumentar la capacidad de alcanzar el desarrollo sostenible, sustentar la economía mundial, proteger el medio ambiente y mitigar la calidad de vida del ser humano”.

No obstante, en las sesiones extraordinarias de la Asamblea General de las Naciones Unidas (1997) se confirmó que aún existen graves problemas ambientales y persisten grandes dificultades para la adopción generalizada de tecnologías más limpias en los distintos procesos del sector productivo asociados al desarrollo industrial.

¿Puede el cambio tecnológico contribuir significativamente a reducir la amenaza de agotamiento de los recursos, el creciente deterioro al ambiente, la contribución al fortalecimiento de las políticas de globalización y desarrollo sostenible? En respuesta a este interrogante, Colombia estableció oficialmente dentro de los siete programas que hacen parte de la política ambiental del Plan de Desarrollo (1994), el programa Hacia una producción más limpia.

Este programa establece como objetivo general la introducción de la dimensión ambiental en los sectores productivos orientándolos hacia formas de gestión y uso de tecnologías ambientalmente sanas y seguras, que aumenten la eficiencia del uso de los recursos y de la energía, optimicen los procesos, sustituyan insumos y disminuyan la generación de residuos, emisiones y vertimientos al medio ambiente.

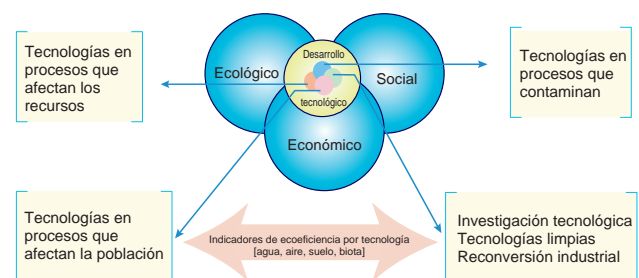
Actualmente, para el desarrollo del tema de desempeño tecnológico propone transformarse más en una aproximación integral del manejo ambiental, partiendo de análisis que van ‘más allá de la suma de las partes’; se quiere enfatizar en los efectos sinérgicos que se pueden alcanzar, mediante el desarrollo de indicadores dentro de las unidades de operación en cada procesoreferentes al uso de los recursos naturales y a la contaminación del medio ambiente natural.

Dentro de este marco de referencia, el Ideam estableció desde mediados de 1996 como objetivos para desarrollar y ejecutar los modelos y las herramientas para el diagnóstico, evaluación, información y propuesta de alternativas tecnológicas, promoviendo así el desarrollo sostenible en los sectores productivos de la economía colombiana.

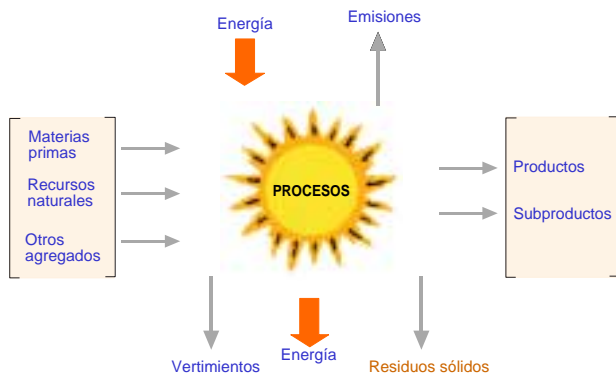
## Tecnología

La tecnología es el conjunto de conocimientos y métodos para el diseño, producción y distribución de bienes y servicios, incluidos aquéllos incorporados en los medios de trabajo, la mano de obra, los procesos, los productos y la organización de la sociedad, reflejada tanto por las relaciones técnicas de producción como por las relaciones sociales de producción (no es neutra) dentro de cada formación y estructura social determinada; constituye una respuesta concreta a condiciones técnicas, ambientales, económicas y sociales específicas.

En la estructura del modelo ambiental, en el contexto del desarrollo sostenible y en el nivel de los procesos productivos y sus efectos en el medio ambiente, las tecnologías pueden clasificarse en: las que afectan los recursos, las que contaminan, las que afectan el crecimiento de la población y las de investigación tecnológica de procesos especiales.



**Figura 12.1.** La tecnología dentro del modelo de desarrollo sostenible. (Fuente: IDEAM, 2000)



**Figura 12.2.** Identificación de entradas y salidas básicas de un proceso. (Fuente: IDEAM, 1998)

## Tecnologías que afectan los recursos

En este grupo se encuentran las tecnologías utilizadas en la extracción y utilización de los recursos naturales existentes en el planeta, tales como agua, energía, alimentos, etc. Para ello, la probabilidad tecnológica consiste en el desarrollo de modelos que al ser aplicados permitan aumentar la base de recursos existentes en el planeta, bien sea explotando los hallazgos de reservas o estableciendo métodos ecoeficientes que hagan crecer la productividad agraria, la extracción y el procesamiento de los recursos minerales o de otro tipo, así como también mejorar e intensificar las técnicas de aprovechamiento de la energía solar o a través del descubrimiento de nuevos recursos y fuentes de energía.

La reflexión sobre este tema hace necesario un acercamiento a la riqueza de conocimientos tecnológicos indígenas que hoy, desde una perspectiva ecológica, aparecen como experiencias para ser analizadas.

## Tecnologías que contaminan

En este grupo se debe considerar a las tecnologías con mayor o menor contribución en la degradación ambiental del aire, agua, suelo y biota. En el nivel global, en el terreno energético se sabe que el carbón puede aportar más contaminantes en los procesos de combustión que el petróleo y éste, que el gas natural, en relación con la contaminación del aire y su aporte al cambio global terrestre (emisiones de  $\text{CO}_2$ ); por lo tanto, es imperioso evaluar las posibilidades de desarrollar opciones tecnológicas que optimicen el uso de los energéticos referidos, así como la utilización de fuentes energéticas más limpias, paralelas a la implementación de métodos de reconversión industrial.

En este grupo desempeñan un papel importante las tecnologías utilizadas en la extracción de recursos natu-

rales no renovables y los procesos de transformación de materias primas en productos, que constituyen una fuente importante de contaminación y generación de residuos.

En un tercer lugar se ha considerado nacionalmente a las tecnologías dirigidas a potenciar las actividades agrarias. La mayoría de las nuevas tecnologías aplicadas actualmente en el sector pecuario en los procesos productivos propios de la agricultura, la ganadería y actividades conexas, potencian mecanismos de producción intensivos en consumo energético y extensivos en ocupación del espacio, trayendo como consecuencia una mayor posibilidad de generar contaminación ambiental (aplicación de nutrientes y plaguicidas) o deterioro de la base productiva, además de un desaprovechamiento de las oportunidades que la tierra ofrece.

Paralelamente, y en cuanto hace referencia a los patrones de consumo doméstico primario y tradicional, más allá de un cambio de técnicas y modelos de consumo, se hace necesario diseñar productos de uso frecuente y mecanismos de transporte menos perjudiciales para el medio ambiente, que potencien a la vez el ahorro de los recursos. Este factor debe analizarse en relación con el contexto económico y demográfico en que se pueden llegar a generar los diferentes daños ambientales, ya que no aproximarlos al marco de desarrollo de los diferentes patrones de la sociedad, tendría poco sentido.

Para el manejo de los contaminantes directos, los residuos de procesos industriales pueden ser minimizados y reprocesados por la misma industria, evitando arrojarlos al medio externo o disponerlos fuera de la industria, y en el caso de envases y productos usados, se deben desarrollar estrategias de reuso y reciclaje.

## Tecnologías que afectan a la población

En este grupo se consideran las tecnologías que afectan el crecimiento de la población, como las sanitarias, educativas, de organización, las diseñadas específicamente para el control de la natalidad y las nuevas tecnologías aplicadas en medicina y salud pública, que más bien favorecen el crecimiento poblacional al reducir la tasa de mortalidad, como es el caso de la difusión de la higiene.

Por el contrario, las tecnologías educativas y organizativas pueden contribuir a un progresivo descenso de la fecundidad: una mejor organización de la economía (mercados) y de la sociedad pueden contribuir en una primera etapa (subsistencia) a aumentar la población, para en una segunda apoyar su estabilización pro-

gresiva, al garantizarle un proceso sostenido de crecimiento y de desarrollo económico.

## Investigación tecnológica de procesos especiales

Para sectores de interés especial, la investigación tecnológica actual estudia las tecnologías de la información. En efecto, la industria informática y la microelectrónica han contribuido al aumento de la productividad industrial y a la eficiencia en el uso de energía y materias primas. Las tecnologías relacionadas con la obtención y utilización de nuevos materiales, como la cerámica, los metales raros, las aleaciones o los plásticos de gran rendimiento, representan pasos positivos en la línea de mayor conservación de la energía y de los recursos, ya que requieren menos energía para su manufactura y, al ser más ligeros, contienen menos materia que los materiales tradicionales.

La biotecnología es otro sector de interés por su aporte en medicamentos, terapias y controles de las enfermedades que mejoran la salud humana. Se abren nuevas posibilidades energéticas derivadas de las plantas, que podrían aparecer como alternativas a los combustibles fósiles. Los cultivos de gran rendimiento, más resistentes a los diferentes climas y plagas, están revolucionando la agricultura. Además, la biotecnología aplicada al tratamiento de residuos ofrece mejoras sustanciales desde el punto de vista ambiental. Por último, los cultivos transformados por la ingeniería genética pueden llevar a la aparición de plantas capaces de absorber el nitrógeno del aire (permitiendo menos uso de los abonos nitrogenados), útiles para disminuir la amenaza de los productos agroquímicos.

Las tecnologías del espacio en un nivel global mejoran la precisión en el pronóstico meteorológico y permiten a los campesinos determinar con mayor exactitud el tiempo en el que deben plantar, regar, abonar o recoger las cosechas. La teleobservación permite un mejor empleo de los recursos de la Tierra, generando también mejor captación de los cambios climáticos, de la contaminación marina, la erosión del suelo y los cambios operados en la corteza terrestre.

## Impacto de la tecnología en la calidad del ambiente

El impacto ambiental generado por los procesos productivos está dado por el grado de ineficiencia de las tecnologías

que se utilizan en cada caso. Los factores tecnológicos que potencialmente generan impactos están relacionados con:

- La composición y origen de los materiales consumidos
- El origen y uso de la energía
- La ineficiencia de las operaciones que conforman los procesos (operaciones físicas, biológicas y reacciones químicas), determinada por factores termodinámicos, de diseño y de operación de los equipos y herramientas utilizados. Esto se traduce en emisiones gaseosas, vertimientos líquidos y residuos sólidos
- La composición del producto, funciones, vida útil y envases, empaques y embalajes que lo acompañan, generando diferentes impactos sobre el medio, a causa del agotamiento de los recursos y de la acción de las diferentes sustancias contaminantes.

## Impacto de las tecnologías que afectan los recursos

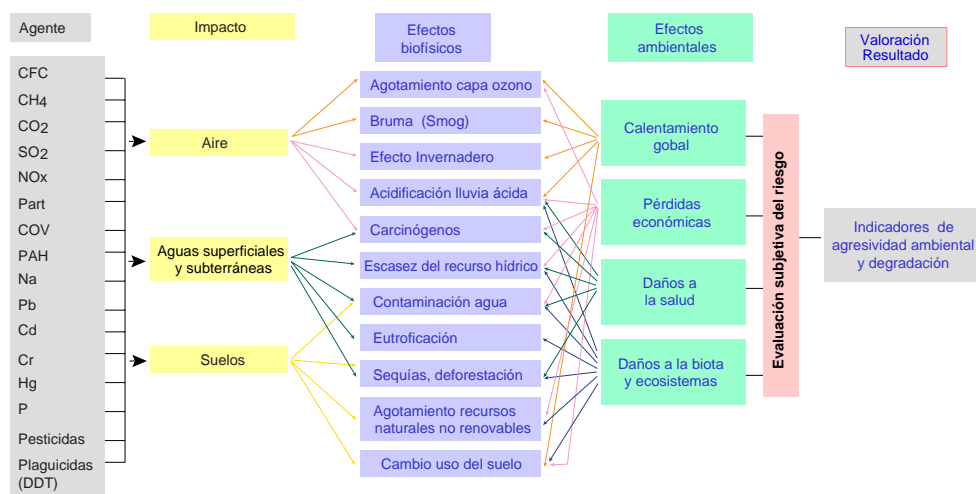
Los recursos naturales se ven afectados por:

- Agotamiento del recurso hídrico, reflejado en la disminución de caudales de los cuerpos de agua superficiales y en el almacenamiento de las aguas subterráneas.
- Cambios en el uso del suelo. Pérdida de humedales y ecosistemas valiosos, debido al uso del suelo en actividades productivas.
- Agotamiento de recursos naturales no renovables, causado por el uso actual inevitable pero excesivo de combustibles fósiles para la generación de energía y la extracción de minerales.
- Cambios en la cobertura vegetal y animal del suelo, generados por la extracción de un recurso natural virgen o en estado natural, o bien por el uso de terrenos naturales alterados por el hombre para actividades agrícolas y pecuarias.

## Impacto de las tecnologías que contaminan los recursos

Los impactos sobre la calidad de los recursos corresponden a:

- Contaminación de aguas superficiales y aguas subterráneas por vertimiento de sustancias tóxicas para los ecosistemas o los seres humanos
- Contaminación del aire por emisión de sustancias tóxicas para los ecosistemas o los seres humanos
- Contaminación de suelos por disposición final de residuos sólidos o líquidos en el suelo o derrames accidentales de materiales tóxicos para los seres vivos y el ecosistema



**Figura 12.3.** Consideración y evaluación de los efectos ambientales originados en la contaminación ambiental. (Fuente: Adaptación del IDEAM de la metodología para Eco-IT, Holanda, 1996)

- Degradación del suelo por salinización y alterógenos
- Eutroficación
- Bruma (*smog*)
- Lluvia ácida
- Agotamiento de la capa de ozono
- Calentamiento global

En lo que se refiere a los impactos de las tecnologías que afectan a la población y de la investigación tecnológica sobre procesos especiales, el Ideam trabaja en la actualidad la definición un sistema de indicadores e índices.

## Indicadores del impacto de la tecnología en el medio ambiente

Para el estudio de los procesos industriales y las tecnologías utilizadas se definen como aquellos elementos (variables) del medio ambiente afectados, o potencialmente afectados, por un agente de cambio. Así pues, un indicador en los procesos es un índice que permite detectar, seguir y evaluar la cuantía de las alteraciones que se producen como consecuencia de la tecnología aplicada en cada una de las operaciones unitarias de un proceso de producción.

Estos indicadores deben ser capaces: de informar sobre la alteración del medio de forma representativa (grado de contaminación del agua); de ser valorados en términos de magnitud y jerarquización (porcentaje de cromo en agua para consumo humano); de fácil identificación (demanda bioquímica de oxígeno –DBO– en vertimientos) y de ser excluyentes, que no permitan superposición entre los distintos indicadores.

De acuerdo con lo anterior, la generación de los indicadores tecnológicos –dependiendo de su origen– deben correlacionar variables propias de las tecnologías de producción (consumo de materiales y energía y emisiones, vertimientos y residuos sólidos) con las categorías de impacto mencionadas. Con el fin de evaluar equipos e insumos (tecnologías), estos indicadores se pueden establecer por unidad de operación o de producto terminado, definiendo la eficiencia de la tecnología utilizada.

Para el estudio aplicado se clasifican en: indicadores de impacto, de ecoeficiencia del proceso y de ecoeficiencia tecnológica; los primeros reflejan el uso de los recursos y la contaminación generada por la tecnología utilizada durante el proceso de transformación; los segundos son la sumatoria de las operaciones unitarias del proceso en condiciones óptimas de uso de los recursos y los de ecoeficiencia tecnológica están referidos a la tecnología aplicada.

## Tecnologías ambientalmente sanas

En el marco del inicio de las operaciones y recursos destinados al financiamiento de evaluación ambiental en sectores de la industria colombiana el Ideam, en convenio con la Universidad Industrial de Santander (UIS), desarrolló el proyecto denominado *Sistema de información para evaluación ambiental de los sectores productivos colombianos* durante 1996-1998; en este punto se presenta el enfoque fundamental adoptado con respecto a las tecnologías, que constituye la base conceptual que guió el proyecto. Los elementos principales son resultado del

estudio profundo del equipo de trabajo que participó en el convenio.

Las tecnologías ambientalmente sanas (TAS) son un concepto relativo, en el que el concepto como tal no puede atribuirse a ninguna tecnología específica o a un grupo de tecnologías. Esto implica:

- Lo que puede percibirse como ambientalmente sano hoy, puede necesariamente no serlo mañana (evolución dinámica de la tecnología)
- Cualquier tecnología debe inspeccionarse en relación con las condiciones sociales, económicas, culturales y ambientales, creando una interacción cuyo resultado necesita ser constantemente evaluado (flexibilidad)

Las tecnologías son consideradas en general sanas cuando contribuyen, de la mejor manera y bajo circunstancias determinadas, a lograr o restaurar el balance entre el desarrollo social, el crecimiento económico y el uso sustentable de los recursos naturales, incluyendo la protección del medio ambiente.

Las funciones de las TAS se ajustan dentro de la estructura de las descripciones dadas en la Agenda 21 (UNCED, 1992). En conclusión, puede afirmarse que las TAS se caracterizan porque:

- Reducen los riesgos para la salud humana y el medio ambiente (minimización del impacto negativo)
- Usan los recursos naturales y fuentes de energía con mayor eficiencia que las convencionales (ahorran energía y materias primas; usan los recursos de forma más sostenible)
- Reducen las emisiones tóxicas y los desechos antes de que abandonen plantas e instalaciones (menos contaminantes que las anteriores alternativas)
- Reciclan una mayor porción de sus desechos y productos
- Tratan los desechos residuales en forma más aceptable que las tecnologías que han sustituido (PNUMA, Programa de Producción Sostenible, ONU (1993), Cepal (1995))

Las tecnologías ambientales pueden ser preventivas o curativas. La administración del ciclo de vida integrado involucra el examen de todas las etapas del ciclo de vida de un producto. El objetivo es hacer las modificaciones tecnológicas al ciclo del producto, en forma tal que se eliminan todas las emisiones sustanciales (por ejemplo, residuos sólidos, vertimientos, partículas y gases) y las emisiones no sustanciales (tales como calor, ruido y radiación) causadas por el ciclo de vida que deterioren la calidad de vida de las personas en el medio ambiente. En otras palabras, los objetivos de las tecnologías preventivas son:

- Generación nula o más baja de residuos
- Toxicidad más baja

- Consumo mínimo de energía y de materias primas
- Consideración del conjunto de las etapas de producción y el ciclo de vida del producto (enfoque 'de la cuna a la tumba' –*cradle to grave*–)

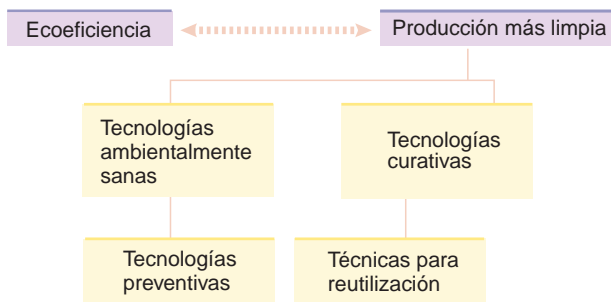
Los principios básicos de funcionamiento de este tipo de tecnologías son:

- *Buenas prácticas operativas*: medidas procedimentales, administrativas o institucionales que una industria usa para minimizar residuos. Entre otras, se puede contar con las siguientes: programa de minimización de residuos, prácticas administrativas de personal, prácticas de manejo de materiales e inventarios, prevención de pérdidas, segregación de residuos, prácticas de contabilidad de costos y de programación de la producción.
- *Cambios tecnológicos*: modificaciones del proceso y del equipo para reducir residuos, prioritariamente en el ciclo de producción. Estos cambios incluyen: cambio en los procesos de producción, uso de automatización y cambios en las condiciones de operación de los procesos.
- *Cambios en las entradas de materiales*: favorecen la minimización de residuos, reduciendo o eliminando los materiales peligrosos que entran al proceso de producción. Así mismo, ayudan a evitar la generación de residuos peligrosos dentro de los procesos de producción e incluyen la purificación de los materiales y su sustitución.
- *Cambios del producto*: se realizan para reducir los residuos que resultan de un producto. Pueden incluir la sustitución del producto y los cambios en su constitución.

Las tecnologías para la reutilización o reciclaje, si bien no se pueden clasificar plenamente como tecnologías preventivas, son potencialmente tecnologías ambientalmente sanas, siendo aplicables para residuos sólidos, vertimientos y emisiones, aunque es en la primera en donde más se pueden observar adelantos a un nivel industrial. Sin embargo, con un buen planteamiento de tecnologías 'al final del tubo', se puede pensar en hacer útiles algunas de las salidas.

En términos prácticos, la reutilización dentro de una actividad productiva se puede hacer a partir de tres acciones fundamentales:

- Volver a introducir un material dentro de la línea de flujo a que pertenece (por ejemplo, el material que se recoge en los filtros de la industria del cemento y que se devuelve a la línea de flujo de procedencia)
- Volver a utilizar un material dentro del mismo proceso productivo, pero no dentro de la misma línea de flujo (es el caso de la utilización del bagazo en la industria del azúcar)



**Figura 12.4.** Conceptos relacionados con las alternativas tecnológicas ecoeficientes para implantar en una unidad productiva. (Fuente: IDEAM-UIS)

- Utilizar el material, no dentro de la misma actividad industrial, sino como insumo o materia prima para otra actividad industrial (es frecuente, ya sea en la industria de matanza de ganado o de extracción de aceite, para la preparación de concentrados para animales)

Una alternativa es la de procesar las emisiones (ya sean residuos sólidos u otras emisiones) al final de los procesos de producción; este tipo de tecnología estará presente aún por mucho tiempo y es la que usualmente se denomina como tecnología de ‘final del tubo’ (*end of pipe*). Entre éstas se cuenta con muchas opciones adecuadas para integrarse a los procesos de producción. Involucran instalaciones y equipos para el tratamiento de contaminantes después de generados; por lo general, añaden costos de fabricación, sin que sea valor agregado de la producción.

Las tecnologías de ‘final del tubo’ muchas veces crean nuevos problemas ambientales, tales como los de reciclar o disponer los residuos de los tratamientos aplicados. Algunos de los mecanismos típicos son los filtros de gases de escape o humos de las plantas de tratamiento de efluentes líquidos o residuos sólidos. En la práctica, las dos estrategias –prevención de contaminación y control de contaminación– se complementan, ya que no es posible evitar los contaminantes y desechos generados.

Estos conceptos de aplicación práctica en el proceso de identificación y evaluación de alternativas de TAS en una empresa o sector industrial, se condensan en la *figura 12.4*.

## Inventario del uso de recursos de la industria colombiana

En Colombia no se dispone de un registro periódico y sistemático de los aportes contaminantes que la indus-

tria genera en cada una de sus actividades económicas productivas; en el mejor de los casos se cuenta con informes puntuales de poca información y con un grado de confiabilidad bastante bajo. Todo esto lleva a concluir que no se tienen las herramientas necesarias para conocer cuál es el comportamiento real de la industria colombiana en cuanto a su desempeño ambiental en los últimos años.

Por ello, el Ideam –con la colaboración de los asesores Guillermo Camacho y Lorenzo Panizzo– desarrolló un instrumento único de captación de información ambiental generada por las diferentes actividades socioeconómicas del país, que actualmente implementa en las diferentes entidades ambientales del país.

Este instrumento se conoce como Formulario del Uso de Recursos (FUR), que, fundamentado en balances de materia y energía, permite la conceptualización de un modelo racional entre las actividades de todos los sectores de la economía, pública y privada, involucrados en la transformación de bienes y servicios con sus correspondientes impactos ambientales. De esta manera, se creó un mecanismo para la recopilación, proceso y manejo adecuado de la información ambiental real, con el cual el gobierno, los sectores productivos y la sociedad en general pueden tomar decisiones convenientes respecto al uso racional y sostenible de los recursos naturales.

El inventario del uso de recursos será un componente del Sistema de Información Ambiental (SIA), en el que se integrará la información sobre consumo de recursos naturales, emisiones, vertimientos y disposición de residuos sólidos, a través de la administración de bases de datos integradas y sistemas de información geográfica, principalmente. Con este instrumento se tendrá un inventario nacional de emisiones, vertimientos y residuos sólidos, en relación con todos los sectores de la economía y a lo largo de los municipios y departamentos del país. Es así como el FUR se convierte en una herramienta básica de gestión ambiental para que en diferentes niveles (establecimientos industriales, gobiernos municipales, regionales, departamentales y nacionales) se pueda emprender acciones como:

- Cumplimiento de la normatividad ambiental
- Evaluación y comunicación de riesgos ambientales
- Prevención de la contaminación y reducción de residuos desde la fuente
- Control de la contaminación del aire
- Manejo de la calidad de agua
- Planes de acción para reducción en la emisión de gases de efecto invernadero
- Demanda y oferta de los recursos naturales
- Reducción de riesgos químicos

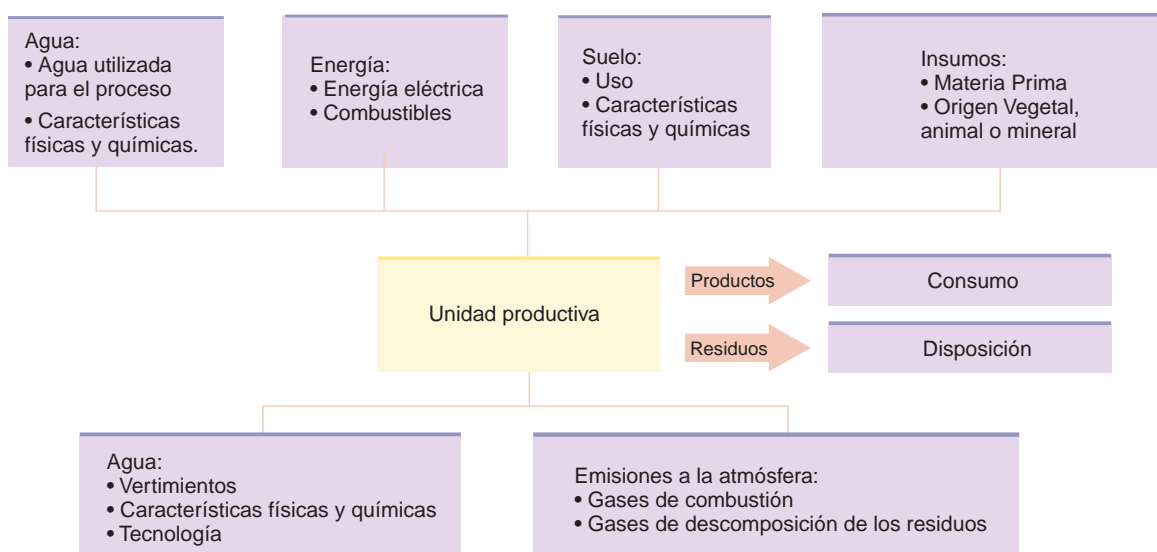


Figura 12.5. Esquema estructural del formulario de uso de recursos (FUR). (Fuente: IDEAM)

- Programas de difusión pública sobre niveles de cumplimiento normativo y de desempeño ambiental de los establecimientos industriales
- Autorregulación industrial y certificación (ISO 14000)
- Acceso público a la información ambiental

El inventario del uso de recursos de la industria colombiana logrará modificaciones importantes a los instrumentos de regulación ambiental directa; una vez transcurrida una etapa histórica de regulaciones uniformes y enfocadas al control separado de descargas de aguas residuales, emisiones atmosféricas y residuos peligrosos, resultará imprescindible adoptar nuevos principios de política pública en materia ambiental, en los que prevalezca la eficiencia, la internalización de costos sociales y el manejo de bienes públicos ambientales, dentro de un marco de incentivos congruente con la competitividad y la racionalidad ecológica de los agentes productivos.

Esto último se puede lograr a partir de: un uso más eficiente de las materias primas e insumos; un mejor control del proceso; una mayor creatividad en el diseño organizacional; la minimización de riesgos y primas de seguros; la reducción de costos de disposición y manejo de efluentes, residuos sólidos y emisiones; el incremento en la productividad, aprovechamiento de subproductos y creación de mercados para materiales secundarios; la eficiencia energética; el mantenimiento adecuado y a tiempo de equipos, y la recuperación de desechos.

Estas consideraciones son recogidas, procurando instaurar un balance adecuado entre la información requerida de la industria y los costos y beneficios asociados al reporte y a la integración de la información en un nivel empresarial, regional y nacional.

Actualmente el Formulario para el Uso de Recursos es una herramienta integrada al nodo central del Sistema de Información Ambiental (SIA), que obtiene la información sobre el uso y transformación de los recursos del sector productivo de manera estandarizada y sistemática a nivel nacional, regional y local, facilitando:

- La optimización del flujo de información entre los sectores productivos y las entidades ambientales, con el manejo de información normalizada a través de un formato de captura para su síntesis en el sistema de información ambiental
- El seguimiento de los distintos sectores productivos a través de sus unidades de producción
- El conocimiento de la presión ejercida sobre los recursos en la región
- La obtención de indicadores de eficiencia del uso y transformación de los recursos que sirvan como herramienta en la toma de decisiones para la gestión ambiental y el uso racional de los recursos
- La comparación de la unidad productiva frente a sí misma, en cuanto a uso de recursos y emisiones en ellos. De la misma manera, frente a su sector.
- El establecimiento, desarrollo y evaluación de políticas ambientales sectoriales
- La realización de diagnósticos ambientales regionales de cada sector productivo, que apoyen la evaluación ambiental y la toma de decisiones.
- La entrega a la comunidad de información y conocimiento sobre la incidencia del sector productivo sobre los recursos del país.

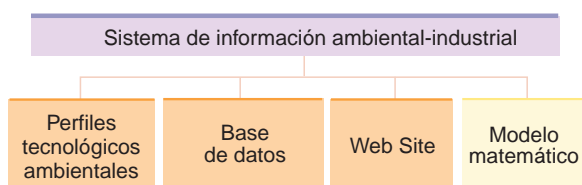
De la misma manera el Ideam, a través del Sistema Nacional Ambiental (SINA), recopila, maneja e interpreta



la información adquirida en el Formulario del Uso de Recursos (FUR) y obtiene así los mayores beneficios sociales, económicos y ambientales para el país. Esta herramienta moderniza los sectores fundamentales de la actividad económica, especialmente aquéllos que hacen un uso intensivo de bienes y servicios ambientales, reconociendo que el acceso público a la información ambiental puede traducirse, no sólo en indicadores del uso de recursos y conocimiento de la contaminación, sino en ventajas privadas que favorezcan la competitividad.

## Sistema de información para la evaluación ambiental en las operaciones de los procesos productivos

Los perfiles tecnológicos ambientales recopilan la descripción detallada de las actividades industriales, lo mismo que algunos indicadores económicos, los factores críticos ambientales de los procesos y las alternativas de uso de



**Figura 12.6.** Componentes del sistema de información ambiental para la evaluación ambiental de los procesos productivos. (Fuente: IDEAM-UIS 1997)

tecnologías menos contaminantes, que pueden aplicarse de acuerdo a criterios técnicos económicos y sociales.

El objetivo básico de este proyecto es desarrollar una herramienta de información y soporte tecnológico para orientar la toma de decisiones estratégicas y políticas que, en el marco de procesos de concertación entre la autoridad ambiental y las unidades industriales, permita la incorporación de todos los actores involucrados en la cultura del desarrollo sostenible, mediante reingeniería y reconversión hacia tecnologías ambientalmente más favorables.

El producto final es un instrumento de registro, archivo, procesamiento, divulgación y consulta de datos, información y conocimiento actualizado periódicamente, a través de la utilización de tecnologías modernas de informática y telecomunicaciones, que permitirán soportar desde el punto de vista tecnológico las acciones del Estado para promover la renovación industrial.

El sistema de información está compuesto por cuatro elementos:

- Un perfil tecnológico ambiental
- Una base de datos
- Una página *web*
- Modelos matemáticos (actualmente en desarrollo)

## Perfil tecnológico

Comprende las relaciones ambiente-tecnología a partir de la desagregación de las etapas de los procesos y de los servicios requeridos. El esquema de trabajo se basa principalmente en la definición del producto final, su clasificación según el Código Internacional Industrial Unificado (CIIU), los balances de masa y energía por cada opción tecnológica, la definición de puntos críticos ambientales y las opciones de tecnología limpia disponibles.

## Objetivos

- Establecer en cada uno de los sectores productivos sus componentes tecnológicos claves, sus interrelaciones y el grado de vigencia tecnológica, según el estado del arte en otros países.
- Estimar el efecto contaminante y el costo ecológico de cada uno de los sectores productivos, a la par con la identificación de los componentes tecnológicos que más contribuyen en estos aspectos y sus posibilidades de mejoramiento.
- En la medida en que se realicen perfiles tecnológicos en diferentes sectores productivos, se tendrá la posibilidad de compararlos en términos de complejidad tecnológica y de aporte contaminante.
- Permitir una apropiación de los aspectos fundamentales de nivel tecnológico y desempeño ambiental en cada uno de los sectores productivos, facilitando la posibilidad de tener un nivel adecuado de interlocución con las empresas y haciendo viable la realización de acuerdos de producción más limpia entre el Estado y los gremios industriales.

## Contenido

### Información de contexto

- Descripción general del sector industrial
- Importancia en la estructura socioeconómica
- Cuantificación y cualificación de las empresas en el panorama nacional

## Información específica

- Descripción global del proceso
- Definición de las etapas del proceso y su integración
- Descripción de insumos y materias primas
- Descripción de los productos elaborados
- Balances de materia
- Consumo energético
- Vertimientos, emisiones y residuos sólidos
- Equipos en cada etapa del proceso (equipos medulares)
- Equipos periféricos
- Personal y su grado de formación
- Costos

## Análisis de la información

- Grado de avance tecnológico del proceso
- Etapas críticas del proceso
- Niveles de contaminación alcanzados
- Fuentes fundamentales de contaminación
- Efectos sobre el medio ambiente
- Efectos sobre las personas vinculadas a la actividad
- Planteamiento y análisis de alternativas tecnológicas ambientalmente sanas

## Codificación de tecnologías por actividad industrial

La evaluación del desempeño ambiental de los diferentes procesos industriales colombianos, a través de la construcción de indicadores que relacionan la magnitud del consumo de un recurso o de la generación de contaminación por unidad de producto elaborado, requiere previamente de la identificación de las tecnologías específicas de proceso utilizadas en cada una de las actividades industriales consideradas.

El trabajo de investigación adelantado en convenio por el Ideam y la Universidad Industrial de Santander permitió identificar y analizar el desempeño tecnológico-ambiental para las tecnologías típicas de 87 actividades industriales estudiadas. Los perfiles tecnológicos ambientales elaborados para tal efecto describían las principales variables económicas, de proceso de producción, de efectos ambientales (factores críticos ambientales) y de alternativas tecnológicas ambientalmente sanas (producción más limpia).

Luego, se estandarizó un nombre específico para describir las tecnologías particulares de producción y asignarles un código a cada una de ellas, para establecer a

continuación los indicadores de desempeño ambiental e integrar los resultados en un análisis sintético y comprensivo para el conjunto de los sectores industriales abarcados por la muestra de análisis.

La metodología desarrollada para identificar a cada una de las tecnologías se ilustra con un ejemplo específico.

**Paso 1.** Inicialmente se toma la actividad industrial objeto de evaluación.

Tecnologías para curtido y acabado de cueros
Curtido al vegetal con depilado manual, secado natural y pintado manual
Curtido al mineral, con depilado manual, secado natural y pintado manual
Curtido al vegetal, con depilado químico, secado natural y pintado manual
Curtido al mineral, con depilado químico, secado natural y pintado manual
Curtido al vegetal, con depilado químico, secado al vacío y pintado manual
Curtido al mineral, con depilado químico, secado al vacío y pintado manual
Curtido al mineral, con depilado químico, secado al vacío y pintado mecánico
Curtido al vegetal, con depilado químico, secado al vacío y pintado mecánico

**Tabla 12.1.** Tecnologías de la actividad curtido-acabado de cueros.

**Paso 2.** Se describen las diversas alternativas tecnológicas que existen en Colombia para esa actividad y por las que se puede(n) elaborar su(s) producto(s) típico(s).

**Paso 3.** Se identifica(n) la(s) tecnología(s) empleadas de modo predominante en Colombia por las plantas industriales de esa actividad, y se agrega el número correspondiente a esa tecnología al final del código CIU de la actividad, conformando de esta manera su identificador para los fines de la investigación.

A continuación se presenta la lista de las tecnologías estudiadas e identificadas, para las que se construyeron los índices de desempeño ambiental, sintetizados en la segunda parte de este estudio.

## Síntesis del desempeño ambiental de las tecnologías por actividad industrial

La evaluación del desempeño ambiental de las diferentes actividades industriales estudiadas se realizó mediante la confección de indicadores que relacionan la magnitud del consumo de recursos, o de la generación de contaminantes específicos, con la producción de bienes particulares.

A continuación se presenta cada uno de estos indicadores con su correspondiente descripción, la relación de las tecnologías que presentan los índices más significativos y una breve síntesis de los aspectos tecnológicos que explican estos valores.

Código	Descripción de la tecnología
311101-2	Matanza de ganado mayor con elevación mecánica, refrigeración, procesamiento de sangre y sin limpieza de vísceras
311101-5	Matanza de ganado mayor con elevación mecánica, procesamiento de sangre, sin limpieza de vísceras y sin refrigeración
311107-2	Matanza de aves con degüello manual, e insensibilización, evisceración y empaque mecánicos
311201-1	Producción de leche líquida higienizada por pasteurización
311207-1	Producción de leches ácidas por fermentación-maduración
311301-1	Producción continua de pulpa de frutas
311302-1	Producción de jugo de frutas pasteurizado en continuo
311304-1	Producción de mermelada pasteurizada por cocción discontinua
311306-1	Producción de legumbres cocidas en discontinuo y envasado hermético
311501-2	Extracción de aceite vegetal por prensado con centrifugación
311504-2	Refinación física de aceite vegetal sin fraccionamiento
311504-4	Refinación química de aceite vegetal sin fraccionamiento
311506-2	Producción de margarinas por emulsificación-cristalización continua
311507-3	Hidrogenación catalítica continua de aceite vegetal con generación de hidrógeno
311601-1	Producción de harina de trigo por molienda en cuatro pasos mediante rodillos
311602-3	Producción de harina de maíz con precocido en columna
311604-1	Producción de maíz trillado con cono desgerminador
311801-1	Producción de azúcar cruda por empapado, clarificación por centrífuga, evaporación multiefecto y cristalización discontinua
311802-1	Producción de panela en bloque con prelimpiadores, cámara ward y pailas evaporadoras aleteadas
311802-6	Producción de panela en bloque con prelimpiadores, cámara tradicional y pailas evaporadoras redondas
311902-3	Producción de chocolate en pastilla por tostación con aire caliente y maduración en frío
311903-3	Producción de confites de chocolate por moldeado y tostación con aire caliente, con producción intermedia de manteca de cacao
311904-1	Producción de caramelos por cocción instantánea, mezclado manual y cámara de enfriamiento rápida
312201-1	Producción de alimentos concentrados para ganado por molienda y mezclado en seco sin peletizado
312202-1	Producción de alimentos concentrados para aves por molienda y mezclado en seco sin peletizado
312202-2	Producción de alimentos concentrados para aves por molienda y mezclado en seco con peletizado
312203-1	Producción de alimentos concentrados para perros por molienda y mezclado en seco con peletizado
313101-2	Producción de alcohol etílico por fermentación discontinua de melaza y destilación multietapa
313301-1	Producción de cerveza por maceración doble-masa y fermentación-maduración en cava
313301-2	Producción de cerveza por maceración doble-masa y fermentación-maduración unitanque
313302-2	Producción de cebada malteada por secado rotatorio y germinación en frío
313403-2	Producción de bebidas no alcohólicas con adición de preservativos y gasificación

Código	Descripción de la tecnología
314002-1	Producción de cigarrillos sin filtro por proceso primario discontinuo y doble acondicionamiento de la lámina, combustible gas natural.
321909-5	Producción de tela asfáltica con refuerzo de papel saturado por inmersión y enfriamiento con cilindros flotantes.
323101-7	Producción de cuero curtido al mineral, con depilado químico, secado al vacío y pintado mecánico.
323102-1	Producción de cuero repujado por troquelado térmico.
323103-2	Producción de cuero charolado por barnizado plastificado mecánico.
323201-1	Producción de piel de reptil con adobo en seco y curtido al vegetal.
331101-3	Producción de madera aserrada con descortezado mecánico y secado artificial.
331104-1	Producción de tableros aglomerados de partículas.
331107-8	Producción de madera inmunizada por vacío-presión, con célula llena (bethell).
341101-3	Producción de pulpa química al sulfato (kraft) blanqueada con sistema de recuperación química.
341101-4	Producción de pulpa química al sulfato (kraft) sin blanquear con sistema de recuperación química.
341102-1	Producción de papeles varios por medio de la máquina de Fourdrinier.
341103-1	Producción de cartones varios por medio de la máquina de Fourdrinier.
342001-2	Producción de periódicos y revistas por litografía, preimpresión manual y postimpresión automática.
342002-1	Producción de libros por litografía, preimpresión manual y postimpresión mecánica.
342003-1	Producción de impresos por litografía asistida por computador, con obtención previa de plancha litográfica en negativo.
351201-2	Producción de abono nitrofosfato por vía fosfónica.
351204-1	Producción de ácido nítrico diluido con absorción en cilindros a presión simple.
351204-3	Producción de ácido sulfúrico a partir de azufre elemental con absorción doble.
351302-1	Producción de poliestireno por polimerización en masa.
351302-2	Producción de polietileno de baja densidad (PEBD) por polimerización en masa a alta presión.
351302-3	Producción de polipropileno por polimerización en suspensión en fase gaseosa y lecho fluidizado.
351302-4	Producción de PVC por polimerización en suspensión.
352101-1	Producción de pintura base aceite con molienda única del pigmento.
352101-3	Producción de pintura base agua con molienda única.
352102-1	Producción de lacas base aceite con molienda única del pigmento.
352302-4	Producción de jabones de tocador por saponificación discontinua, planta de terminado continua y obtención de glicerina.
352305-2	Producción de detergente en polvo sin sulfonación y secado por atomización.
352907-2	Producción de cemento de neopreno con dilución y mezclado discontinuos.
354002-3	Producción de mezcla asfáltica en caliente con dosificación discontinua, combustible fuel oil.
355101-1	Producción de llantas por mezclado en malaxadores, confección, vulcanización en prensa.
355102-1	Producción de neumáticos con mezclado en malaxadores y vulcanización en prensa.

Código	Descripción de la tecnología
355903-3	Producción de artículos de caucho espumado con mezclado en malaxadores y moldeo por extrusión.
355904-1	Producción de calzado y partes de caucho por mezclado en malaxadores y calandrado.
356001-1	Producción de tubos plásticos por extrusión y enfriado en piscina.
356002-1	Producción de plástico espumado flexible con polimerización discontinua en masa y moldeo por extrusión y troquelado.
361001-1	Producción de artículos cerámicos por molienda discontinua, secado por atomizado, moldeo por prensado en seco y monococción.
361002-1	Producción de aparatos sanitarios por molienda discontinua, moldeo en húmedo con colaje y bicocción.
361003-1	Producción de artículos cerámicos por molienda discontinua, secado por atomizado, moldeo por prensado en seco y monococción.
361004-1	Producción de artículos eléctricos cerámicos por molienda discontinua, moldeo en húmedo por extrusión y monococción.
362001-1	Producción de vidrio plano por mezclado continuo, fusión en horno continuo con regenerador, estirado-enfriado por rodillos lisos y recocido.
362003-1	Producción de envases de vidrio por formado con sistema de sople y sople.
369101-1	Producción de ladrillos refractarios por molienda discontinua, moldeo por prensado y cocción continua.
369102-5	Producción de artículos de arcilla con molienda discontinua, moldeo por extrusión, cocción discontinua con carbón, secado artificial.
369103-3	Producción de artículos de gres por molienda discontinua, moldeo por extrusión, secado artificial y cocción discontinua (horno colmena), con carbón.
369201-3	Producción de cemento por vía húmeda con decantación, combustible gas natural.
369201-7	Producción de cemento por vía seca con horno largo, combustible carbón.
369903-1	Producción de artículos de asbesto-cemento por proceso mecánico húmedo.
371002-2	Producción de arrabio por reducción de mineral de hierro con coquización y alto horno.
371003-2	Producción de acero por proceso semi-integral u horno eléctrico, con separación manual de chatarra.
371004-2	Producción de artículos de acería, laminado en caliente, con cizallamiento, proceso integral.
371004-4	Producción de artículos de acero, laminado en caliente, con cizallamiento, horno eléctrico y proceso semi-integral.
371005-1	Fabricación de acero de acería, laminado en frío, decapado químico, recocido discontinuo por inmersión.

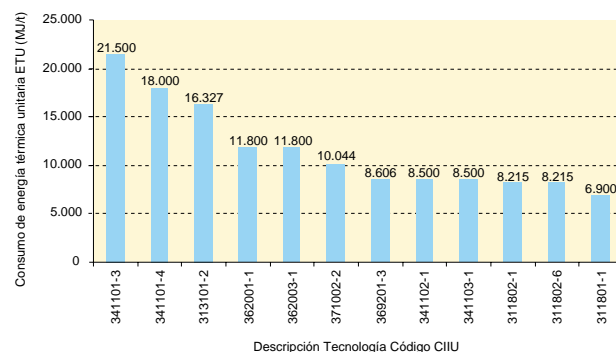
**Tabla 12.2.** Tecnologías de proceso de las actividades industriales. (Fuente: Convenio IDEAM-UIS)

## Consumo de energía térmica unitaria, ETU, (MJ/t)

Se entiende por energía térmica unitaria (ETU), la energía trasferida en forma de calor que debe ser suministrada a las materias primas para su posterior transformación y conversión en productos. Generalmente en la

industria estos requerimientos térmicos se suplen a partir del uso de combustibles fósiles, por combustión de biomasa, energía eléctrica, energía solar y energía potencial química de sustancias.

La ETU se describe como la relación entre la cantidad de energía expresada en megajoules (MJ) y la cantidad de producto elaborado en dicha actividad industrial, medida en toneladas. Los efectos que sobre el entorno puede causar la demanda energética de un proceso están relacionados sobre todo con el consumo de recursos naturales como combustibles fósiles y, además de esto, con la cantidad de elementos o compuestos que son emitidos a la atmósfera, producto de la combustión de tales combustibles. De igual forma, este indicador refleja en buena medida la complejidad relativa en la elaboración de los productos, ya que las demandas energéticas grandes evidencian un consumo intensivo del recurso energético.



**Gráfico 12.1.** Consumo de energía térmica unitaria por tecnología.

De acuerdo con el gráfico 12.1, las actividades industriales de la muestra bajo estudio cuyo consumo de energía térmica se realiza en forma intensiva, en orden descendente, son las siguientes:

- Fabricación de pulpa química al sulfato (proceso *kraft*) con sistema de recuperación química, con o sin blanqueo, principalmente por las altas tasas de evaporación de agua que se deben realizar en el proceso.
- Fabricación de planchas y láminas de caucho por calandrado y vulcanización en prensa, artículos de caucho espumado con mezclado en malaxadores y moldeo por extrusión y producción de calzado y partes de caucho por mezclado en malaxadores y calandrado; esta actividad se caracteriza por una operación discontinua en la etapa de vulcanizado, lo que provoca grandes consumos de energía.
- Producción de alcohol etílico por fermentación discontinua de melaza y destilación multietapa, originado en las etapas de esterilización, evaporación y rectificación de los mostos.

- Producción de arrabio por reducción de mineral de hierro con coquización y alto horno, debido a las altas temperaturas necesarias para la fundición del mineral en alto horno.

Otras actividades que también presentan importantes consumos de energía térmica son: producción de llantas por mezclado en malaxadores, confección, vulcanización en prensa; producción de neumáticos con mezclado en malaxadores y vulcanización en prensa; producción de vidrio plano por mezclado continuo, fusión en horno continuo con regenerador, estirado-enfriado por rodillos lisos y recocado; producción de envases de vidrio por formado con sistema de soplo; producción de cemento por vía húmeda con decantación, combustible gas natural; producción de papeles y cartones varios por medio de la máquina de Fourdrinier; producción de panela en bloque con prelimpiadores, cámara *ward* y pailas evaporadoras aleteadas, y producción de azúcar cruda por empapado, clarificación por centrifuga, evaporación multiefecto y cristalización discontinua.

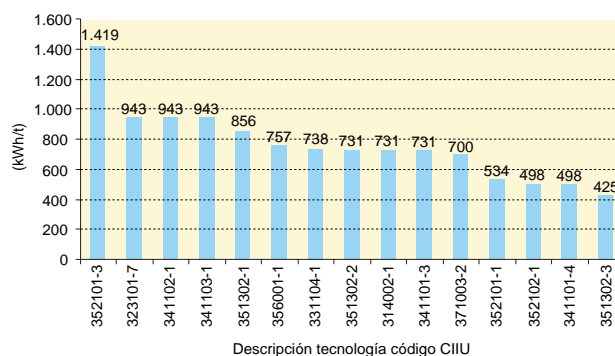
## Consumo de energía eléctrica unitaria, EEU, (kwh/t)

La energía eléctrica unitaria (EEU) se refiere a la energía necesaria para el funcionamiento de equipos en las diferentes actividades industriales y es medida con respecto a una tonelada de producto. Esta energía se obtiene en el país generalmente por generación térmica o hidráulica.

La energía eléctrica cumple un papel trascendental en el proceso manufacturero, ya que a través de ella es posible operar los sistemas de transporte de materiales, de agitación de reactores, de control de procesos, de limpieza en equipos y materiales. Además, el consumo de energía eléctrica se considera como uno de los parámetros más importantes en la evaluación de la eficiencia operativa de los procesos productivos, y en el nivel macroeconómico se utiliza como referencia para la medición del desarrollo industrial de un país.

De acuerdo con el *gráfico 12.2*, las actividades industriales de la muestra bajo estudio con consumo intensivo de energía eléctrica, en orden descendente, son las siguientes:

- Producción de pintura con base de aceite con molienda única del pigmento, con alto consumo de energía eléctrica por los procesos de molienda y agitación necesarios para la dispersión del pigmento, a altas velocidades.
- Producción de artículos de hierro y acero fundido por electromaquinado y tratamientos térmicos, por las exi-



**Gráfico 12.2.** Consumo de energía eléctrica unitaria por tecnología.

gencias de energía eléctrica en el templado, revenido, recocado de las materias primas y adicionalmente, por la energía utilizada en la etapa de electromaquinado (horno de arco eléctrico).

- Producción de vidrio plano por mezclado continuo, fusión en horno continuo con regenerador, estirado-enfriado por rodillos lisos y recocado, con alto consumo de energía eléctrica necesaria en el transporte de materiales sólidos.
- Producción de cuero curtido al mineral, con depilado químico, secado al vacío y pintado mecánico, con alto consumo energético ocasionado por los largos periodos de residencia en los diferentes fulones de depilado, piquelado, curtido, etc.

Adicionalmente, otras tecnologías que se destacan en el consumo de energía eléctrica son: producción de envases de vidrio por formado con sistema de soplo y soplo; producción de calzado y partes de caucho por mezclado en malaxadores y calandrado; producción de planchas y láminas de caucho, artículos de caucho espumado o de neumáticos por calandrado, vulcanización en prensa y/o moldeo por extrusión; producción de poliestireno por polimerización en masa, y producción de tubos de plástico por extrusión.

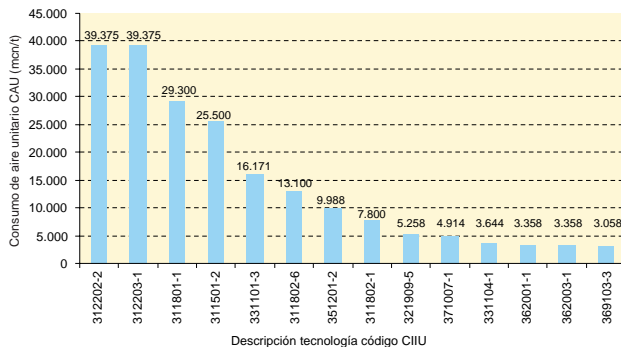
## Consumo de aire unitario, CAU, (m<sup>3</sup>n/t)

El aire, a diferencia de los demás componentes abióticos del ambiente, es un recurso que por utilizarse casi de forma inadvertida, a pesar de ser vital y de no requerir tratamiento alguno, se sitúa en una posición desfavorable ya que en la actualidad el deterioro gradual al que se ha venido sometiendo sólo se advierte en los efectos de los contaminantes que se revierten en contra del hombre y la misma naturaleza.

El aire suministra el oxígeno necesario para la combustión; cuando en un proceso el aire suministrado per-

mite que todo el carbono pase a dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y que todo el hidrógeno se convierta en agua (H<sub>2</sub>O), se dice que la combustión es completa. Igualmente, el aire es necesario en procesos de enfriamiento, en los que se requiere en volúmenes considerables.

El consumo de aire unitario (CAU) está dado por la cantidad de aire necesario para llevar a cabo las etapas de cada proceso industrial y se mide en metros cúbicos normales (volumen ocupado por el aire, en metros cúbicos, a 25°C y una atmósfera de presión) por unidad de producto elaborado en toneladas.



**Gráfico 12.3.** Consumo de aire unitario por tecnología.

De acuerdo con el gráfico 12.3, los consumos más elevados de aire se presentan en las siguientes actividades industriales:

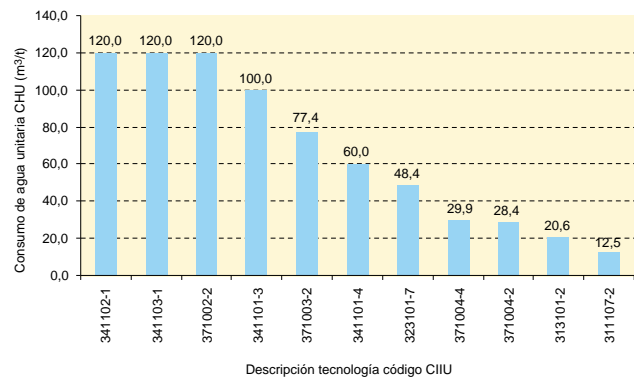
- Tecnología para la producción de alimentos concentrados para aves por molienda y mezclado en seco con peletizado. Su consumo de aire se debe sobre todo a las etapas de secado de las materias primas y productos, de la misma manera que al consumo en la etapa de peletizado.
- Tecnología para la producción de alimentos concentrados para perros por molienda y mezclado en seco con peletizado. Consumo alto de aire a causa de los procesos de secado de las materias primas y productos y de la misma manera, por el consumo en la etapa de peletizado.
- Tecnología para la producción de azúcar cruda por empapado, clarificación por centrifuga, evaporación multiefecto y cristalización discontinua. El consumo de aire es provocado por la utilización de excesos en la combustión de biomasa para generación de energía térmica.
- Tecnología de extracción de aceite vegetal por prensado con centrifugación. Los consumos de aire elevados son ocasionados por la utilización de excesos en la combustión de biomasa para generación de energía térmica.
- Tecnología para la producción de madera aserrada con descortezado mecánico y secado artificial. Ori-

ginado por los requerimientos de aire en las diferentes etapas de secado de la madera.

Otras actividades que también presentan altos consumos de aire son: la tecnología para la producción de panela en bloque con prelimpiadores, cámara tradicional y pailas evaporadoras redondas; la tecnología para la producción de abono nitrofosfato por vía fosfónica; la tecnología para la producción de alcohol etílico por fermentación discontinua de melaza y destilación multietapa, y la tecnología para la producción de panela en bloque con prelimpiadores, cámara *ward* y pailas evaporadoras aleteadas.

## Consumo de agua unitario, CHU, (m<sup>3</sup>/t)

Los efectos del consumo de agua sobre el entorno se ven reflejados en la disminución de los caudales de los cuerpos de agua y, sobre todo, en su contaminación debida a aspectos tales como mayores temperaturas y elementos extraños vertidos en las descargas industriales. El consumo de agua unitario (CHU) en la industria se da en volumen de agua consumida en metros cúbicos por unidad de producto elaborado, es decir, por tonelada de producto.



**Gráfico 12.4.** Consumo de agua unitaria por tecnología.

De acuerdo con el gráfico 12.4, las actividades industriales de la muestra bajo estudio con consumo de agua en forma intensiva son las siguientes, en orden descendente:

- Producción de papeles y cartones varios por medio de la máquina de Fourdrinier y fabricación de pulpas químicas por proceso *kraft* con sistema de recuperación química, con blanqueo y sin blanqueo: la mayor parte del agua en el proceso de manufactura de papel y cartón se utiliza como agua de proceso (casi un 80%), dejando una parte pequeña como agua de enfriamiento; en el caso del pulpeo *kraft*, la pulpa se

Otras actividades que también presentan altos consumos de agua son: la producción de cuero curtido al mineral, con depilado químico, secado al vacío y pintado mecánico; la producción de alcohol etílico por fermentación discontinua de melaza y destilación multietapa; la matanza de aves con degüello manual e insensibilización, evisceración y empaque mecánicos; la producción de cebada malteada por secado rotatorio y germinación en frío, y la producción de cerveza por maceración doble-masa y fermentación-maduración unitanque o en cava.

## Consumo de energía fósil unitaria, CEFU, (MJ/t)

El consumo de energía fósil unitaria (CEFU) está dado por la cantidad de energía térmica obtenida a partir de combustibles fósiles, expresada en megajoules (MJ) por unidad de tonelada de producto elaborado, y se define como la energía térmica consumida en el proceso, generada a partir de combustibles fósiles tales como el carbón, el gas natural o los derivados del petróleo. Este indicador refleja toda la energía disponible en el combustible, a la que se le restan las pérdidas en la eficiencia de la combustión para obtener el indicador ETU.

Los efectos de este índice en el entorno están relacionados con los citados para el consumo de energía térmica, es decir, para el consumo de recursos naturales y de los diferentes compuestos emitidos a la atmósfera. Los efectos ambientales derivados dependen de la naturaleza del combustible seleccionado y de la tecnología de extracción, transporte y combustión propiamente dicha.

En la mayoría de procesos industriales se hace necesaria la utilización de energía térmica, que puede obtenerse a través de la combustión de diferentes materiales y, dependiendo de cuáles se utilicen, la energía puede ser de origen fósil (CEFU) o de biomasa.

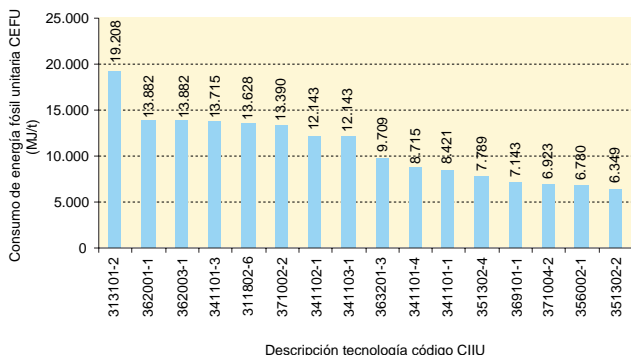


Gráfico 12.5. Consumo de energía fósil unitario por tecnología.

De acuerdo con el gráfico 12.5, las actividades industriales de la muestra bajo estudio con consumo de energía fósil unitaria, en orden descendente, son las siguientes:

- Alcohol etílico por fermentación discontinua de melaza y destilación multietapa, con consumo de energía fósil elevado representado por una alta demanda para la generación de vapor.
- Producción de vidrio plano por mezclado continuo, fusión en horno continuo con regenerador, estirado-enfriado por rodillos lisos y recocido, y producción de envases de vidrio por formado con sistema de sople y sople: su consumo alto de energía no fósil es debido a los altos consumos en el proceso de combustión del alto horno utilizado para la fusión del vidrio.
- Producción de pulpa química al sulfato (*kraft*) blanqueada con sistema de recuperación química, para la generación de vapor utilizado en las diferentes etapas del proceso; en este caso, el consumo de energía térmica del proceso es mayor al indicador presentado en el gráfico 12.5, pero la tecnología facilita el aprovechamiento de energía por biomasa.

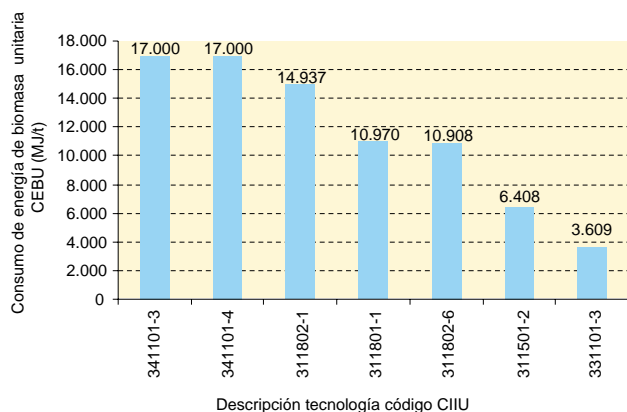
Otras actividades que se destacan en el consumo de energía de energía fósil son: producción de panela en bloque con prelimpiadores, cámara tradicional y pails evaporadoras redondas; producción de arrabio por reducción de mineral de hierro con coquización y alto horno; producción de papeles y cartones varios por medio de la máquina de Fourdrinier, y producción de cemento por vía húmeda con decantación, combustible gas natural.

## Consumo de energía por biomasa unitaria, CEBU, (MJ/t)

En algunos procesos de producción, sobre todo en el sector de alimentos, queda una gran cantidad de biomasa como residuo. Esta biomasa puede emplearse en los procesos de combustión para generar energía térmica, tanto en el proceso como en los servicios industriales. Este tipo de energía se denomina 'por biomasa'.

El consumo de energía por biomasa unitaria (CEBU) es la relación existente entre la energía térmica obtenida a partir de biomasa en combustión por unidad de producción, es decir, por tonelada de producto elaborado.

Los efectos ocasionados por el consumo de biomasa para la producción de energía son en términos generales positivos, dado que en la mayoría de los casos esta cantidad de biomasa se dispone como residuos, siendo una muy buena alternativa su utilización como combustible, además de tratarse de elementos de carácter renovable.



**Gráfico 12.6.** Consumo de energía de biomasa unitaria por tecnología.

De acuerdo con el gráfico 12.6, los consumos más elevados de energía por biomasa se presentan en las actividades industriales a continuación:

- Producción de pulpa química al sulfato (*kraft*) blanqueada, con sistema de recuperación química
- Producción de pulpa química al sulfato (*kraft*) sin blanquear, con sistema de recuperación química
- Producción de panela en bloque con prelimpiadores, cámara tradicional y pailas evaporadoras redondas
- Producción de azúcar cruda por empapado, clarificación por centrífuga, evaporación multiefecto y cristalización discontinua
- Producción de panela en bloque con prelimpiadores, cámara *ward* y pailas evaporadoras aleteadas
- Extracción de aceite vegetal por prensado con centrifugación
- Producción de madera aserrada con descortezado mecánico y secado artificial

En todas estas actividades industriales es común la utilización de fuentes energéticas renovables, como lo son los subproductos de biomasa de origen vegetal. Este aprovechamiento trae como ventaja la disminución en el consumo de combustibles fósiles.

## Consumo de materia prima mineral unitario, CMPMU, (t/t)

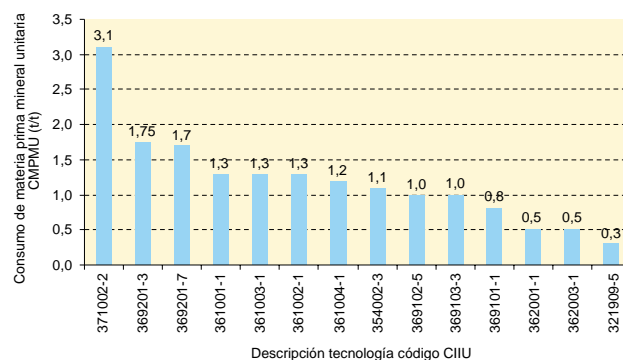
El consumo de recursos minerales, medido en términos de tonelada de recurso mineral utilizado por tonelada de bien producido, se obtiene a partir de actividades extractivas tales como las realizadas en canteras, arena y gravas, así como de las actividades mineras. La minería reviste especial interés en términos medioambientales, debido a que las actividades extractivas constituyen un uso temporal de los terrenos y, si no existe una restauración posterior, las superficies abandonadas quedan en

situación de degradación sin posibilidades reales de aprovechamiento por parte de otros tipos de actividades.

Adicionalmente, debe considerarse por igual el agotamiento del recurso en sí, que, dependiendo del uso al que se destina, se puede estar subutilizando de acuerdo con usos potenciales de mayor valor agregado y/o aprovechamiento másico.

De acuerdo con el gráfico 12.7, las actividades industriales de la muestra bajo estudio con consumo de recursos minerales en forma intensiva son, en orden descendente, las siguientes:

- Producción de arrabio por reducción de mineral de hierro con coquización y alto horno: este proceso se caracteriza por presentar bajas eficiencias de conversión másica debido a que no existe recirculación de las corrientes residuales de tipo inorgánico tales como la escoria, por ser de carácter químico inerte.
- Producción de cemento por vía húmeda con decantación, combustible gas natural y por vía seca con horno largo, combustible carbón: este proceso también presenta bajas eficiencias de conversión másica debido a que 44% del carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) presente en la caliza y que entra en el proceso de combustión, se pierde como  $\text{CO}_2$ .
- Producción de artículos cerámicos por molienda discontinua, secado por atomizado, moldeo por prensado en seco y monococción; producción de aparatos sanitarios por molienda discontinua, moldeo en húmedo con colaje y bicocción; producción de artículos cerámicos por molienda discontinua, secado por atomizado, moldeo por prensado en seco y monococción, y producción de artículos eléctricos cerámicos por molienda discontinua, moldeo en húmedo por extrusión y monococción: la baja eficiencia en este proceso se explica por la pérdida de arcilla que entra al proceso, principalmente en la etapa de atomización como finos y adicionalmente, por el material cocido



**Gráfico 12.7.** Consumo de materia prima mineral unitaria por tecnología.



que sale del horno y que no puede reincorporarse al proceso debido a los cambios fisicoquímicos que sufre la estructura de la materia prima.

Otras actividades que también presentan altos consumos de recursos minerales son: producción de mezcla asfáltica en caliente con dosificación discontinua, combustible *fuel oil*; producción de ladrillos refractarios por molienda discontinua, moldeo por prensado y cocción continua; producción de artículos de arcilla con molienda discontinua y moldeo por extrusión y cocción discontinua con carbón y secado artificial, y producción de artículos de gres por molienda discontinua, moldeo por extrusión, secado artificial y cocción discontinua (horno colmena) con carbón.

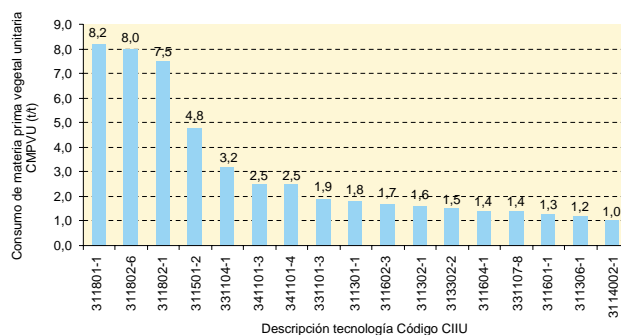
## Consumo de materias primas vegetales unitario, CMPVU, (t/t)

Las materias primas vegetales como insumo para los diferentes procesos industriales, representado como el consumo en tonelada por tonelada de bien producido, implica la extracción de un recurso natural virgen o en estado natural, o bien, el uso de terrenos naturales alterados por el hombre para tal efecto (actividades agrícola y forestal).

Las prácticas más frecuentes que producen deterioro del entorno natural incluyen: uso inapropiado de terrenos con clara vocación forestal, ocasionando pérdidas en la biodiversidad y de la capa orgánica del suelo; aumento de la erosión y sedimentación de los cauces adyacentes; aumento del reflejo de la luz solar y, por tanto, del calentamiento de la atmósfera, entre otros; formas de cultivo que favorecen la erosión; abonados excesivos e incorrectos que producen contaminación de los acuíferos y cauces de agua (eutroficación); mal manejo del agua de riego que conduce a balances desfavorables de agua y de sales en el suelo y el área de riego (salinidad y alcalinidad del suelo), perdiendo capacidad productiva de los terrenos. Igualmente, cabe señalar las diversas y complejas implicaciones de carácter socioeconómico que se derivan de las actividades agrícolas y forestales.

De acuerdo con el *gráfico 12.8*, las actividades agroindustriales de la muestra bajo estudio que representan los mayores índices en el consumo intensivo de materias primas vegetales son, en orden descendente, las siguientes:

- Producción de azúcar cruda por empapado, clarificación por centrifuga, evaporación multiefecto y cristalización discontinua: en este proceso se consumen 8.2 toneladas de caña de azúcar por tonelada de azúcar producida.



**Gráfico 12.8.** Consumo de materia prima mineral unitaria por tecnología.

- Producción de panela en bloque con prelimpiadores, cámara *ward* y pailas evaporadoras aleteadas, y producción de panela en bloque con prelimpiadores, cámara tradicional y pailas evaporadoras redondas: en este proceso se consumen 7,5 y 8,0 toneladas de caña de azúcar por tonelada de panela producida, respectivamente.
- Extracción de aceite vegetal por prensado con centrifugación: en este proceso se consumen 4.8 toneladas de fruto de palma por tonelada de aceite producido.

Otras actividades que también presentan altos consumos de materia prima vegetal son: fabricación de tableros aglomerados de partículas, producción continua de pulpa de frutas, producción de harina de maíz con precocido en columna, producción de cebada malteada por secado rotatorio y germinación en frío, y producción de maíz trillado con cono desgerminador.

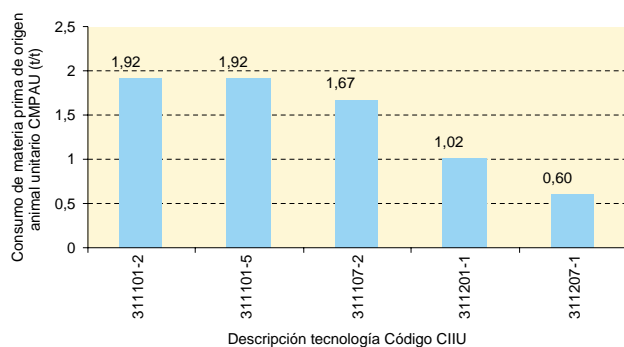
## Consumo de materias primas de origen animal unitario, CMPAU, (t/t)

La relación de la agricultura y de la actividad pecuaria con el medio ambiente es muy estrecha pues, en general, se asientan sobre terrenos naturales alterados, y difícilmente se podría imaginar una actividad pecuaria sin modificar el entorno.

En general hay una falta de definición del espacio ocupado por la ganadería extensiva, que acarrea el uso incontrolado de terrenos forestales o de pastizales y matorrales con vocación forestal. El fuego es un método habitualmente utilizado para limpiar y despejar el monte. También es frecuente la contaminación de aguas por vertidos directos de estiércoles, concentrados de harinas para animales u otro tipo de materias similares.

De acuerdo con el *gráfico 12.9*, los consumos más elevados de materias primas de origen animal se presentan en las actividades industriales siguientes:

- Matanza de ganado mayor con elevación mecánica, refrigeración, procesamiento de sangre y sin limpieza de vísceras.



**Gráfico 12.9.** Consumo de materia prima de origen animal unitaria por tecnología.

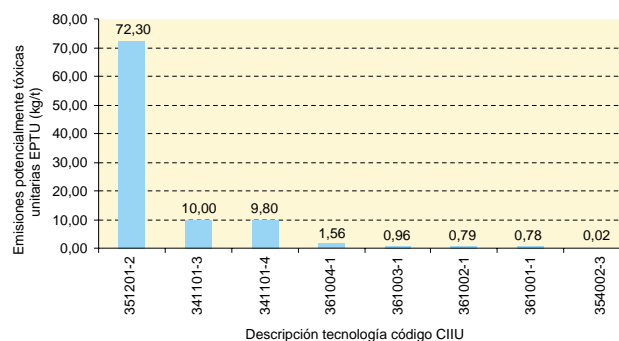
- Matanza de ganado mayor con elevación mecánica, procesamiento de sangre, sin limpieza de vísceras y sin refrigeración
- Matanza de aves con degüelle manual e insensibilización, evisceración y empaque mecánicos
- Producción de leche líquida higienizada por pasteurización.
- Producción de leches ácidas por fermentación-maduración

De las actividades industriales estudiadas, las anteriores son las únicas que presentan consumo de materias primas de origen animal de extracción directa. De la eficiencia de conversión que se obtenga en estos procesos dependerá en gran parte la carga orgánica presente en los vertimientos originados en ellos; es decir, a menor eficiencia, mayores descargas, y viceversa.

## Emisiones potencialmente tóxicas unitarias, EPTU, (kg/t)

De acuerdo con la normatividad vigente en Colombia, son contaminantes tóxicos de primer grado aquéllos que, emitidos bien sea en forma rutinaria o de manera accidental, pueden causar cáncer, enfermedades agudas o defectos de nacimiento y mutaciones genéticas.

Algunos de los compuestos incluidos en este caso son: los hidrocarburos aromáticos polinucleares, considerados como posibles compuestos cancerígenos y mutagénicos; los metales pesados (mercurio, cadmio, cromo, cobre, cinc, arsénico, plomo) que, al depositarse sobre el suelo y entrar en la cadena trófica, presentan toxicidad a bajas concentraciones por bioacumulación en los riñones y el hígado (cadmio) o en la sangre (plomo); las dioxinas y furanos, compuestos extremadamente tóxicos y bioacumulables, los que, una vez lanzados a la atmósfera, se introducen en la cadena trófica por deposición sobre el suelo y los vegetales, afectando en mayor medida a los eslabones superiores de la cadena, como consecuencia de su poder bioacumulativo; de las dife-



**Gráfico 12.10.** Emisiones potencialmente tóxicas unitarias por tecnología.

rentes sustancias que contienen halógenos en su molécula, cabe destacar el cloro, el fluoruro de hidrógeno, el cloruro de hidrógeno y ciertos haluros; otros compuestos orgánicos derivados del cloro, como los policlorobifenilos (PCB).

Por su olor característico desagradable se ha incluido dentro de este grupo al sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ), a pesar de que se oxida rápidamente a  $SO_2$ .

De acuerdo con el gráfico 12.10, las actividades industriales de la muestra bajo estudio cuya generación de emisiones potencialmente tóxicas es significativa son, en orden descendente, las siguientes:

- Producción de abono nitrofosfato por vía fosfónica: se emiten gases ácidos y fluoruros ( $HF$ ,  $SiF_4$ ) formados en los reactores de acidulación por efecto de la acción del ácido nítrico sobre la roca fosfórica, siendo estos últimos los que representan el principal factor de riesgo en esta actividad. La magnitud de las pérdidas de ácido nítrico en los reactores de acidulación es importante, por cuanto cerca de 13% del ácido nítrico total alimentado (ácido 100%) se evapora en los reactores de acidulación. Otras emisiones generadas son los gases amoniacales ( $NH_3$  y  $NH_4Cl$ ) desprendidos en los reactores de neutralización por falta de eficiencia.
- Fabricación de pulpas químicas por *kraft* con sistema de recuperación química, con blanqueo y sin blanqueo: las emisiones con carácter potencialmente tóxico que se generan en esta actividad son compuestos de azufre (ácido sulfhídrico y compuestos de azufre reducido), de cloro en estado gaseoso y dióxido de cloro (en la etapa de blanqueo). Los primeros se originan principalmente en el horno de recuperación del sistema de recuperación química.

Otras actividades que también presentan tasas significativas de emisiones potencialmente tóxicas (básicamente fluoruros) son: producción de artículos eléctricos cerámicos por molienda discontinua, moldeo en húmedo por extrusión y monococción; producción de artícu-

los cerámicos por molienda discontinua, secado por atomizado, moldeo por prensado en seco y monococción; producción de aparatos sanitarios por molienda discontinua, moldeo en húmedo con colaje y bicocción, y producción de artículos cerámicos por molienda discontinua, secado por atomizado, moldeo por prensado en seco y monococción.

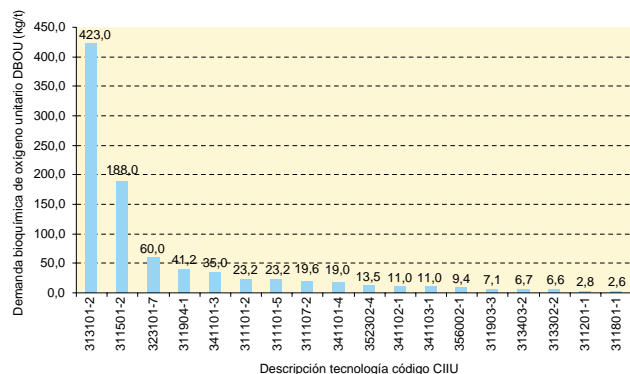
Debido a la escasa información existente con respecto a este tipo de emisiones, es muy posible que existan otras actividades con generación de diversas sustancias potencialmente tóxicas que no fueron incluidas en este análisis.

## Demanda bioquímica de oxígeno unitaria, DBOU, (kg/t)

La demanda bioquímica de oxígeno (DBOU) es un bioensayo que mide la cantidad de oxígeno consumida en la degradación bioquímica de la materia orgánica mediante procesos biológicos aerobios.

Los efectos provocados por la materia orgánica son diferentes según se trate de materia orgánica biodegradable o no biodegradable. La primera provoca una disminución del oxígeno disuelto por su consumo, en orden descendente, en los procesos de degradación, reduciendo la capacidad de autodepuración de un río. Cuando se ha consumido todo el oxígeno disuelto, la degradación se torna anaeróbica, desapareciendo la vida animal y apareciendo compuestos típicos de la putrefacción, que generan mal olor, como el ácido sulfhídrico, la putrescina, etc. La segunda puede presentar efectos diferentes, como son la acumulación en los tejidos animales y la toxicidad.

De acuerdo con el gráfico 12.11, las actividades industriales relacionadas con el sector de alimentos, excepto los sectores de cuero y fabricación de pulpa, son los mayores aportantes de carga orgánica en los vertimientos



**Gráfico 12.11.** Demanda bioquímica de oxígeno unitaria por tecnología.

industriales; se aclara que la medición de este indicador está sujeto a la información disponible. A continuación se presenta en orden descendente las principales actividades:

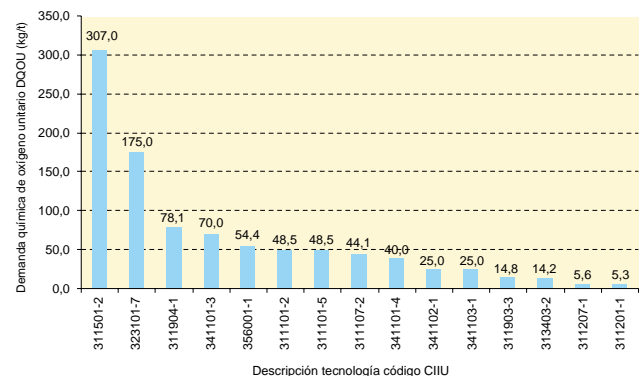
- Producción de alcohol etílico por fermentación discontinua de melaza y destilación multietapa. La demanda bioquímica de oxígeno es generado por las altas concentraciones de los residuos líquidos conocidos como vinazas, que se producen en la etapa de destilación.
- Extracción de aceite vegetal por prensado con centrifugación. La demanda bioquímica de oxígeno es causada por la presencia de aceite en las aguas residuales.
- Producción cuero curtido al mineral, con depilado químico, secado al vacío y pintado mecánico. La demanda bioquímica de oxígeno es provocada por la generación de cantidades considerables de materia orgánica, como grasas, pedazos de carne y piel, etc.

Otras actividades que se destacan por una alta demanda bioquímica de oxígeno son: producción de caramelos por cocción instantánea, mezclado manual y cámara de enfriamiento rápida; producción de pulpa química al sulfato (*kraft*) blanqueada con sistema de recuperación química, y matanza de ganado mayor con elevación mecánica, procesamiento de sangre y sin limpieza de vísceras con o sin refrigeración.

## Demanda química de oxígeno unitaria, DQOU, (kg/t)

La demanda química de oxígeno es la cantidad de oxígeno consumido por las materias existentes en el agua, oxidables en unas condiciones determinadas. Esta medida es una estimación de las materias oxidables en el agua, cualquiera que sea su origen, orgánico o mineral.

Los efectos provocados por la materia orgánica se describen en el punto correspondiente al DBOU.



**Gráfico 12.12.** Demanda química de oxígeno unitaria por tecnología.

De acuerdo con el *gráfico 12.12*, los DQOU más elevados se presentan en las actividades industriales que se mencionan a continuación:

- Tecnología de extracción de aceite vegetal por prensado con centrifugación. Esta actividad presenta el mayor valor en este indicador debido a las altas descargas de grasas, ácidos, sodas, etc. Su relación DQO/DBO es igual a 1,63.
- Tecnología de producción cuero curtido al mineral, con depilado químico, secado al vacío y pintado mecánico. Su DQO es alto debido a la gran cantidad de insumos químicos utilizados en las diferentes etapas del proceso, reflejado en una alta relación DQO/DBO con un valor de 2,92.
- Tecnología para la producción de caramelos por cocción instantánea, mezclado manual y cámara de enfriamiento rápida. El significativo DQO/DBO presentado en esta actividad industrial es ocasionado por los frecuentes lavados de equipos a los que se adicionan agentes químicos para limpieza y desinfección. La relación DQO/DBO es 1,85.
- Tecnología para la producción de pulpa química al sulfato (*kraft*) blanqueada con sistema de recuperación química. Su alto valor de DQO se debe a la utilización de grandes cantidades de agentes químicos durante todo el proceso. La relación DQO/DBO es igual a 2.

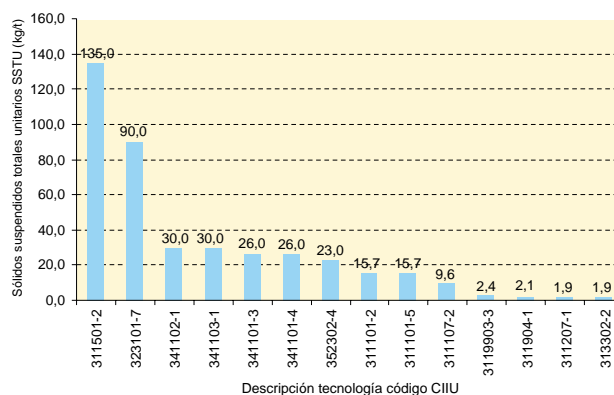
Otras actividades que también presentan altos valores de DQO, en orden de importancia, son: tecnología para la producción de plástico espumado flexible con polimerización discontinua en masa y moldeado por extrusión y troquelado, y tecnología de matanza de ganado mayor con elevación mecánica, procesamiento de sangre, sin limpieza de vísceras, con o sin refrigeración (DQO/DBO = 2,1).

Es importante aclarar que no se dispone del valor de DQO para la fabricación de alcohol etílico, que se espera que sea el más alto por presentar el mayor DQO, con un valor de 423 kg/t.

Por último, se puede mencionar que relaciones DQO/DBO bajas indicarían que el vertimiento es más fácil de recuperar porque la mayoría de la materia orgánica es biodegradable.

## Sólidos suspendidos totales unitarios, SSTU, (kg/t)

Los análisis de sólidos son importantes en el control de procesos de tratamiento biológico y físico de aguas residuales. Los sólidos totales incluyen los sólidos suspendidos, o porción de sólidos totales retenidos por un



**Gráfico 12.13.** Sólidos suspendidos totales unitarios por tecnología.

filtro, y los sólidos disueltos totales, o porción que atraviesa el filtro.

Los sólidos en suspensión absorben la radiación solar, de modo que disminuyen la actividad fotosintética de la vegetación acuática, lo mismo que pueden disminuir el oxígeno disuelto y limitar entonces el desarrollo de la vida acuática. Al mismo tiempo obstruyen los cauces, embalses y lagos. También intervienen en los procesos de producción industrial y pueden corroer los materiales y elevar el costo de depuración del agua.

De acuerdo con el *gráfico 12.13*, las actividades industriales de la muestra en estudio con generación significativa de sólidos suspendidos totales, en orden descendente, son las siguientes:

- Extracción de aceite vegetal por prensado con centrifugación: la generación de vertimientos durante el proceso de extracción se encuentra localizada principalmente en las etapas de clarificación y esterilización; también existen otras descargas que se dan en la sección de palmistería, en las purgas de los tanques desarenadores y sedimentadores.
- Producción de cuero curtido al mineral, con depilado químico, secado al vacío y pintado mecánico: aproximadamente 65% de los efluentes líquidos del proceso tienen su origen en las operaciones de ribera (lavado, remojo, pelambre, encalado y desencajado); 30%, en las operaciones de curtido (piquelado, curtido, recurtido y teñido), y el 5% restante, en el acabado.

Otras actividades que también presentan tasas significativas de sólidos suspendidos totales son: producción de papeles y cartones varios por medio de la máquina de Fourdrinier; fabricación de pulpas químicas por proceso *kraft* con sistema de recuperación química, con blanqueo y sin blanqueo, y producción de jabones de tocador por saponificación discontinua, planta de terminada continua y obtención de glicerina.

Tal y como se deduce de la comparación de los índices de DBO y DQO con el índice respectivo de SST, existe una relación directa entre los niveles del vertimiento observados en los primeros con los valores obtenidos para los SST. De igual forma, debido a la escasa información existente con respecto a este tipo de vertimientos, es muy posible que existan otras actividades con generación de altos niveles de SST que no fueron incluidas en el presente análisis, tal como es el caso de la actividad industrial de producción de alcohol etílico por fermentación discontinua de melaza y destilación multietapa.

## Residuos de biomasa unitarios, RBU, (kg/t)

Los residuos de biomasa son los materiales de carácter orgánico generados en los procesos industriales, diferentes al producto para el cual fue diseñado el proceso principal. Dichos residuos en algunos de los casos se presentan en una cantidad considerable, aun mayor que el producto esperado. Para tener una idea de la cantidad de residuos de biomasa y poderla relacionar con el producto esperado, este índice se da en kilogramos de residuo por tonelada de producto esperado.

Los residuos de biomasa ejercen un gran efecto sobre el entorno pues, en general, se disponen de manera inadecuada, generando serios problemas ambientales: como cualquier elemento más del suelo, los contaminantes se incorporan a los procesos fisicoquímicos naturales, alterando sus características y propiedades originales. El potencial de este tipo de residuos como subproductos para otros procesos industriales es altísimo, lo cual ha llevado al desarrollo de estrategias de 'producción más limpia', como la simbiosis industrial que imita en orden descendente los flujos de nutrientes entre los diversos organismos en los ecosistemas naturales; en este caso, lo hace entre diversas plantas industriales que constituyan

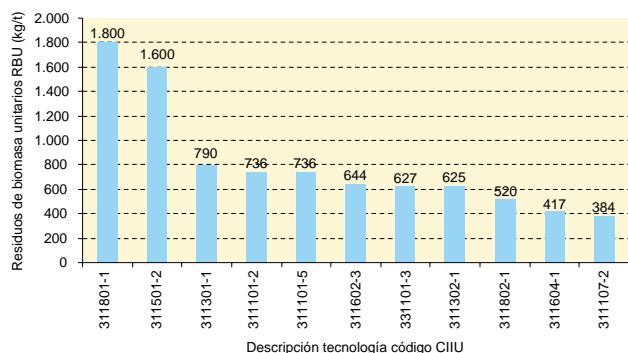


Gráfico 12.14. Residuos de biomasa unitarios por tecnología.

ecoparques, aun en el caso en que no estén concentradas en una misma área.

De acuerdo con el gráfico 12.14, la generación de RBU se presenta básicamente en las actividades industriales del sector de alimentos. De la muestra bajo estudio, las actividades industriales con residuos de biomasa generados en forma intensiva son, en orden descendente, las siguientes:

- Azúcar cruda por empapado, clarificación por centrífuga, evaporación multiefecto y cristalización discontinua, en una relación de 1.8 toneladas/tonelada de azúcar producida.
- Extracción de aceite vegetal por prensado con centrifugación, en una relación de 1.6 toneladas/tonelada de aceite extraído.
- Producción continua de pulpa de frutas, en una relación de 0,7 tonelada/tonelada de pulpa producida.

Los residuos de biomasa de origen vegetal contienen una fuente potencial de energía térmica que puede ser aprovechada, como en el caso de la industria de panela, azúcar y aceites, en donde una proporción de la energía térmica unitaria la suministran los RBU.

Los residuos de biomasa de origen animal son una fuente de insumos para la producción de alimentos para animales y ocasionalmente, para alimentos de consumo humano.

Otras actividades que también presentan altos consumos de energía térmica son: la matanza de ganado mayor con elevación mecánica, refrigeración, procesamiento de sangre y sin limpieza de vísceras; la matanza de ganado mayor con elevación mecánica, procesamiento de sangre, sin limpieza de vísceras y sin refrigeración, y la producción de harina de maíz con precocido en columna.

## Residuos inorgánicos unitarios, RIU, (kg/t)

En esta categoría se reúnen los residuos no orgánicos ni especiales (como tóxicos y/o peligrosos, radiactivos y biosanitarios) que pueden agruparse como residuos inertes y combustibles. De otra forma podría decirse que aquí se incluyen los residuos generados en los procesos productivos que suponen un riesgo moderado para la salud humana y el medio ambiente y, aunque requieren un tratamiento particular y específico, no tienen un mayor control en su transporte y eliminación.

Se incluyen en este grupo desechos como chatarra, vidrios, cenizas, polvos, arenas, recortes de chapa, escorias, tierras, papel, cartón, plásticos, gomas, trapos y, en general, todas aquellas sustancias que no necesitan de

ningún tratamiento previo a su disposición en el medio ambiente, pero que pueden ser aprovechables como subproductos del proceso.

Algunos de los efectos originados por la disposición de este tipo de residuos son: degradación del paisaje por la presencia de vertidos y acumulaciones de residuos en lugares no acondicionados, añadiéndose un deterioro de la vegetación y desaparición de la fauna originaria; pérdida de valor del suelo, derivado de las restricciones de usos que se impongan a este suelo; posible lixiviación de contaminantes específicos por lavado del agua lluvia a través de las diversas capas de la zona de disposición y/o arrastre superficial en el área de disposición, por la mezcla con materia orgánica. Para evitar este tipo de inconvenientes, debe presentarse soluciones para disposición final, aislados con membranas en rellenos especiales (de seguridad).

De acuerdo con el gráfico 12.15, los índices más altos de residuos inorgánicos se presentan en las actividades industriales que se mencionan a continuación:

- Tecnología para la producción de artículos cerámicos por molienda discontinua, secado por atomizado, moldeo por prensado en seco y monococción. En esta actividad, los residuos inorgánicos son producto de la arcilla inerte cocida que no es posible reutilizar dentro del mismo proceso, generándose aproximadamente 1/3 de material no utilizable por tonelada de producto obtenido.
- Tecnología para la producción de artículos cerámicos por molienda discontinua, secado por atomizado, moldeo por prensado en seco y monococción. En esta actividad, los residuos inorgánicos son producto de la arcilla inerte cocida que no es posible reutilizar dentro del mismo proceso, generándose aproximadamente 1/3 de material no utilizable por tonelada de producto obtenido.
- Tecnología para la producción de ladrillos refractarios por molienda discontinua, moldeo por prensado y cocción continua. Sus residuos inorgánicos son pro-

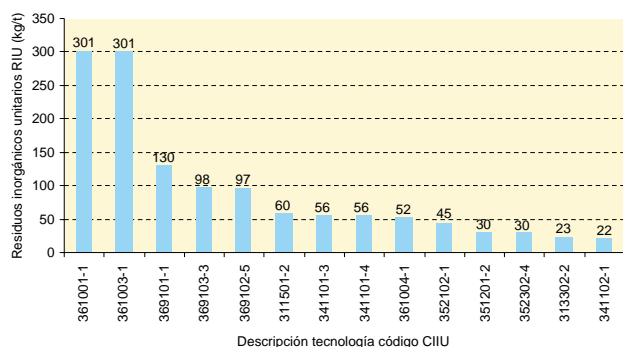


Gráfico 12.15. Residuos inorgánicos unitarios por tecnología.

ducto de los recortes generados en el proceso, que se logran reutilizar en su totalidad.

- Tecnología para la producción de artículos de gres por molienda discontinua, moldeo por extrusión, secado artificial y cocción discontinua (horno colmena), con carbón. Los residuos inorgánicos se generan en los recortes generados en el proceso que no se logran reutilizar en su totalidad.
- Tecnología para la producción de artículos de arcilla con molienda discontinua, moldeo por extrusión, y cocción discontinua con carbón y secado artificial. Estos residuos son producto de los recortes generados en el proceso que no se logran reutilizar en su totalidad.

Otras actividades que también generan considerables cantidades de residuos inorgánicos, en orden de importancia, son: tecnología de extracción de aceite vegetal por prensado con centrifugación; tecnología para la producción de pulpa química al sulfato (*kraft*) blanqueada con sistema de recuperación química; tecnología para la producción de pulpa química al sulfato (*kraft*) sin blanquear con sistema de recuperación química, y tecnología para la producción de artículos eléctricos cerámicos por molienda discontinua, moldeo en húmedo por extrusión y monococción.

Vale la pena aclarar que en los datos analizados no se tuvieron en cuenta las cenizas producidas por la quema de combustibles fósiles; de hacerlo, los valores presentados podrían tener cambios significativos que incluirían un número mayor de tecnologías de producción, que podrían cambiar el espectro de actividades en relación con la generación de residuos inorgánicos.

## Residuos potencialmente tóxicos unitarios, RPTU, (kg/t)

De acuerdo con la normatividad vigente en Colombia, la toxicidad de un elemento o compuesto contenido en un residuo se define como la propiedad que tiene esa sustancia, elemento o compuesto, de causar daños en la salud humana o la muerte de un organismo vivo.

Ampliando esta definición, se puede decir que la toxicidad se divide en siete características que incluyen los efectos letales, crónicos y subcrónicos para todos los blancos ambientales y, principalmente, los efectos adversos potenciales de las sustancias sobre la salud humana: letalidad aguda, efectos subletales en especies no mamíferas, efectos subletales en plantas, efectos subletales en mamíferos, teratogenicidad (efectos reproductivos), genotoxicidad/mutagenicidad (efectos mutagénicos/alteración genética) y carcinogenicidad.

Actividad industrial	Tipo de residuo
Industria del vidrio	Flúor, plomo
Industrias gráficas e impresión	Hidrocarburos clorados, hidrocarburos aromáticos, sustancias orgánicas fuertemente desintegradas
Industria química	Hidrocarburos, metales (Pb, Cd, Ba, Cr, Al, Hg, Cu, Mg, Zn), alcoholes, cianuros, ácidos, sales, disolventes, aminas
Pinturas, barnices y tintas	Hidrocarburos, metales (Pb, Cd, Ba, Cr), alcoholes, residuos plásticos
Industria de protección de la madera	Hidrocarburos, metales (Cu, Cr, As)
Industria metalúrgica/galvánica	Hidrocarburos aromáticos, metales pesados, cianuros
Metales férricos y acerías	Metales (Cu, Ni, Pb), ácidos/disolventes, hidrocarburos alifáticos (aceites minerales), lodos de electrofiltros
Curtidos	Hidrocarburos, ácidos, metales (Cu III), sales, disolventes, cianuros y residuos de colorantes
Plásticos	Hidrocarburos aromáticos, metales (Co, Cd, Mg), cianuros, aminas y monómeros reactivos
Papeleras	Sustancias orgánicas fuertemente desintegradas, mercurio
Goma y caucho	Hidrocarburos aromáticos, metales (Zn, Pb), ácidos, compuestos de azufre y monómeros reactivos

**Tabla 12.3.** Actividades industriales generadoras de residuos potencialmente tóxicos. (Fuente: IDEAM-UIS)

Las sustancias abarcadas por esta definición son numerosas, si bien en este indicador se consideran sólo las que se disponen por vía de los residuos sólidos. En todos los casos se cuantifica la concentración de cada sustancia presente en el residuo.

La información relacionada con este indicador en el país es escasa y poco confiable, por lo que la muestra utilizada como base para este análisis imposibilita la determinación de las actividades industriales que generan este tipo de residuos e, igualmente, su cuantificación. En la *tabla 12.3* se presenta una síntesis de la información internacional existente al respecto.

## Indicadores de desempeño ambiental para el proceso de generación de vapor

Es importante señalar que dentro del área de los procesos que se denomina ‘servicios industriales’ (o ‘paraprocesos’) juega un papel fundamental en el desempeño ambiental de las tecnologías la denominada ‘producción de vapor’. El suministro de la energía térmica necesaria para la mayor parte de la producción industrial se efectúa a través de la transformación de la energía potencial química contenida en un combustible en energía térmica ganada por una masa de agua cuando se evapora.

Esta transformación de energía puede ocurrir en un amplio espectro de posibilidades tecnológicas, dependiendo de si el combustible es líquido, sólido o gaseoso. Es decir, para un mismo producto pueden ser utilizadas diferentes combinaciones combustible-tecnología, que generan índices ambientales de desempeño diversos y particulares. Históricamente, dentro del sector industrial ha predominado la opción más económica de combustibles y tecnologías de combustión para la generación de vapor, sin tener en cuenta la variable ambiental. Sólo en las últimas décadas, y particularmente en el sector termogenerador eléctrico, surge una

fuerte tendencia hacia la utilización de combustibles y tecnologías con menores incidencias ambientales.

Los aportes contaminantes por emisiones de proceso de óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, dióxido de carbono y material particulado se muestran agrupados en la tercera parte de este documento, junto con los aportes correspondientes a la generación de vapor como servicio industrial de los procesos analizados. Por lo tanto, a continuación sólo se definen los contaminantes y sus posibles efectos ambientales:

### Óxidos de nitrógeno unitario de proceso $\text{NO}_x$ Up, kg/t

El óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno ( $\text{N}_2\text{O}$ ) se presentan conjuntamente como  $\text{NO}_x$ . El óxido de nitrógeno (NO) es un gas incoloro, inodoro y no inflamable, pero tóxico. El dióxido de nitrógeno ( $\text{N}_2\text{O}$ ) es un gas pardo-rojizo, no inflamable, tóxico. Estos óxidos de nitrógeno son compuestos naturales en la atmósfera, en donde se encuentran en muy pequeñas cantidades. Las fuentes naturales de generación de estos óxidos son los procesos biológicos en los suelos, las tormentas eléctricas y, en el caso del  $\text{NO}_2$ , la oxidación del NO natural.

En cuanto a las fuentes antropogénicas, la generación principal de óxidos de nitrógeno se produce en las combustiones a altas temperaturas, así como en la fabricación de los ácidos nítrico y sulfúrico y en diversos procesos de nitración industrial.

Los efectos que el  $\text{NO}_2$  puede producir sobre las personas se centran en problemas relacionados con el sistema respiratorio, dependiendo de las concentraciones presentes, siendo el  $\text{NO}_2$  cuatro veces más tóxico que el NO.

### Óxidos de azufre unitario del proceso $\text{SO}_x$ Up, kg/t

Los óxidos de azufre se forman como consecuencia del proceso de combustión del azufre contenido en el carbón

y el petróleo, de la descomposición y la combustión de la materia orgánica y del aerosol masivo procedente de los océanos y los volcanes. El dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) es un gas incoloro de olor picante e irritante en concentraciones superiores a 3 ppm. Es 2.2 veces más pesado que el aire, a pesar de lo cual se desplaza rápidamente en la atmósfera, siendo un gas bastante estable. El  $\text{SO}_3$ , formado a partir de la oxidación del  $\text{SO}_2$ , bien sea por procesos catalíticos o fotoquímicos, es un gas incoloro y muy reactivo que se condensa fácilmente; en condiciones normales no se encuentra como  $\text{SO}_3$  en la atmósfera, ya que reacciona casi inmediatamente con agua para dar  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

El  $\text{SO}_3$  formado a partir del  $\text{SO}_2$  y el ácido sulfúrico son por lo tanto contaminantes secundarios y dan lugar a los problemas de lluvia ácida y a la bruma (*smog*) reductora. Los efectos que el  $\text{SO}_2$  puede causar sobre la salud humana se centran principalmente en el sistema respiratorio, en particular en la generación de infecciones respiratorias. Las reacciones de algunos contaminantes con las superficies de los materiales producen deterioro en éstos; tales reacciones se denominan 'ataque químico'.

## Dióxido de carbono unitario del proceso $\text{CO}_2\text{Up}$ , kg/t

El dióxido de carbono es un gas incoloro e inodoro, no tóxico, más denso que el aire y originado en los procesos de combustión. Se halla presente en atmósferas puras de forma natural, si bien la actividad humana provoca un aumento variable de su concentración. Entre sus fuentes naturales de generación se encuentran la respiración de las plantas verdes, la oxidación del CO natural y los incendios forestales, siendo la fuente antropogénica principal los procesos de combustión de combustibles fósiles. La concentración ambiental de  $\text{CO}_2$  ejerce una cierta acción sobre la temperatura media de la atmósfera por absorción de determinadas radiaciones solares (infrarrojas), siendo el principal acelerante del calentamiento global de la atmósfera, conocido como 'efecto invernadero'.

## Material particulado del proceso $\text{MPUp}$ , kg/t

Atendiendo a su composición química, las partículas pueden estar formadas por muy diversas sustancias: metales, carbón, alquitrán, resinas, polen, hongos, bacterias, óxidos, nitratos, cloruros, sulfatos, fluoruros, silicatos, carbonatos, etc. Existe un amplio margen de tamaños que se extienden desde  $6 \times 10^{-4}$  a  $1 \times 10^2$  unidades de radio, si se prescinde de las dispersiones gaseosas, nubes, niebla y gotas de lluvia.

Los efectos que las partículas pueden causar sobre la salud del hombre se deben a su penetración en el cuerpo humano a través del tracto respiratorio. Dependiendo del tamaño de las partículas, éstas podrán o no superar las barreras que el organismo humano dispone para su defensa, como los pelos o la mucosa del conducto y cavidad nasal, respectivamente. Las partículas pueden ser tóxicas por sí mismas o bien transportar moléculas de gases irritantes, permitiéndoles alcanzar las áreas sensibles en los pulmones.

El efecto negativo que la acción de las partículas inertes puede causar en las plantas se debe a la acumulación de éstas sobre las hojas, obstruyendo los estomas y disminuyendo la superficie expuesta al sol, lo que dificulta la función clorofílica. Las partículas tóxicas depositadas sobre las plantas pueden producir necrosis y caída de las hojas, en las condiciones de humedad adecuadas.

El material particulado presente en la atmósfera puede causar problemas estéticos debido a la deposición de las partículas sobre los materiales, lo que implicará a su vez la necesidad de realizar limpiezas con mayor frecuencia, suponiendo un importante costo adicional. Además, las partículas, con ayuda del viento, ejercen sobre los materiales una acción erosiva importante producida por su choque sobre la superficie de los materiales.

Para describir el desempeño ambiental del proceso de producción industrial de vapor como elemento de transporte de energía, se usarán los indicadores ya descritos para la emisión de  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{CO}_2$  y material particulado. Cabe anotar que estos índices para la producción de vapor se sumarán a los índices respectivos de los procesos principales para obtener finalmente un índice total por contaminante, que incluirá los aportes tanto por la combustión como por el proceso productivo en sí. Dado que la cantidad teórica posible de combinaciones combustible-tecnología de combustión puede llegar a ser considerable, se presenta el análisis sólo para dos de ellas. La primera opción es la de producir el vapor necesario para cada producto utilizando gas natural y una tecnología de quemado por atomización. La segunda consiste en la utilización del combustible líquido, quemado también por atomización. Esta preselección se realiza teniendo en cuenta que los contenidos en peso mínimos y máximos de azufre generalmente se encuentran en los combustibles referidos.

En los *gráficos 12.16 a 12.18*, las *barras azules* indican las emisiones del contaminante propias del proceso, es decir, que no dependen de la combustión para la producción de vapor (por ejemplo, el uso de combustibles en hornos de fuego directo); las *barras de color rojo* representan las emisiones conjuntas del proceso y de la



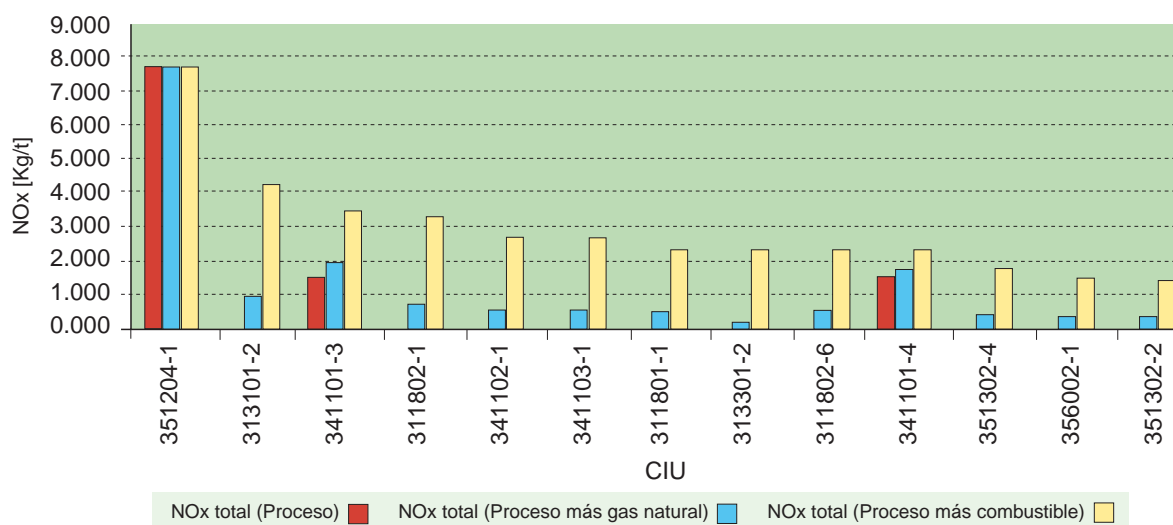


Gráfico 12.16. Emisiones de NO<sub>x</sub>.

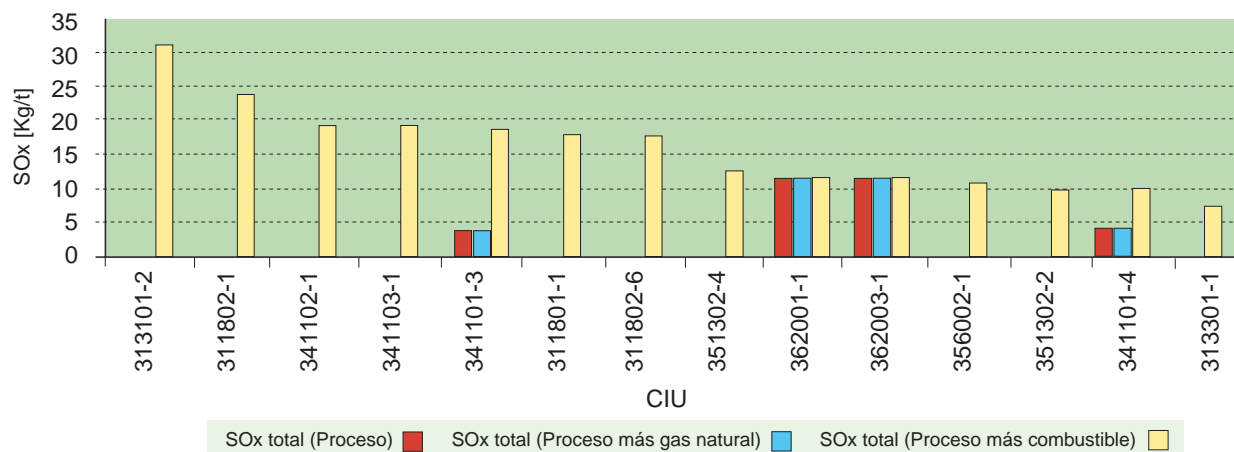


Gráfico 12.17. Emisiones de SO<sub>x</sub>.

generación de vapor cuando se utiliza gas natural como combustible, y las *barras de color amarillo* muestran lo mismo, pero cuando se utiliza combustóleo.

A continuación se muestran los índices correspondientes a las emisiones unitarias totales de las actividades industriales que forman parte del universo de trabajo.

## Emisión de NO<sub>x</sub>

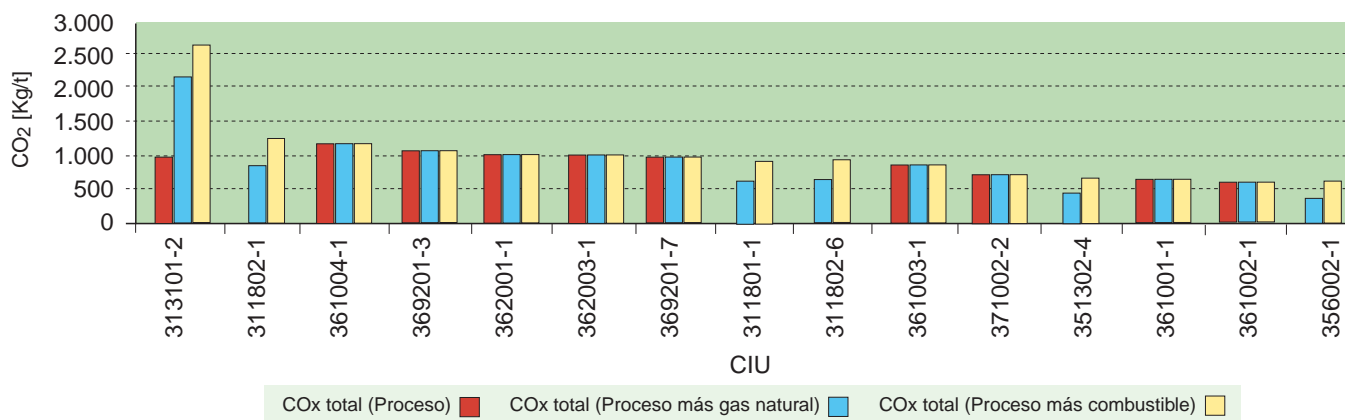
Aunque el índice correspondiente a la tecnología para la producción de abono nitrofosfato por vía fosfonítrica (tecnología 351201-2) no se muestra en el *gráfico 12.16*, es de 53 kg/t. Lo que equivale a decir que supera más de siete veces al segundo en la clasificación 'producción de ácido nítrico diluido con absorción en cilindros a presión simple'. Es importante anotar las mayores emisiones de óxidos de nitrógeno que se encuentran en las industrias que están relacionadas con la fabricación y/o uso del ácido nítrico diluido, a pesar de que en estos proce-

sos no se hace necesario el uso de la combustión para la producción de vapor.

Las tecnologías correspondientes a la producción de planchas y láminas de caucho por calandrado y vulcanización en prensa, de artículos de caucho espumado con mezclado en malaxadores y moldeo por extrusión y a la producción de alcohol etílico por fermentación discontinua de melaza y destilación multietapa, emiten altos valores de óxidos nitrosos, debido principalmente a sus elevados consumos de combustibles fósiles. Vale la pena anotar que cuando se utiliza combustóleo se producen cinco veces más óxidos de nitrógeno que cuando se utiliza gas natural.

## Emisión de SO<sub>x</sub>

Cuando el combustible utilizado es el gas natural, prácticamente puede afirmarse que no existen emisiones de óxidos de azufre, mientras que para el caso del



**Gráfico 12.18.** Emisiones de CO<sub>2</sub>.

combustóleo, en la muestra estudiada se reportan valores de 35 kg/t para las tecnologías relacionadas con la fabricación de artículos de caucho (incluyendo llantas, neumáticos y planchas). El proceso de fabricación de alcohol etílico por fermentación discontinua también se constituye en un fuerte emisor de óxidos de azufre si utiliza combustóleos o crudos como combustibles. La fabricación de tableros aglomerados de partículas, debido a sus requerimientos energéticos, es también una eventual fuente de SO<sub>x</sub>, con un nivel cercano a 30 kg/t. Para el caso en que se utiliza carbón bituminoso para la combustión, los niveles de emisión se encuentran generalmente dentro del rango cubierto por el combustóleo.

## Emisión de CO<sub>2</sub>

La emisión de CO<sub>2</sub> en los procesos industriales generalmente proviene de dos fuentes principales: la combustión de materiales orgánicos o como resultado de los procesos metabólicos de fermentación por microorganismos sobre sustratos también orgánicos. En un caso específico, como es la obtención de alcohol etílico por fermentación discontinua, la emisión se debe al efecto combinado de las dos fuentes, llegando a tomar valores de 2,5 toneladas de CO<sub>2</sub> por cada tonelada de alcohol.

En el rango comprendido entre 1 y 2 toneladas de CO<sub>2</sub>/tonelada de producto, cabe mencionar los aportes que realizan los sectores de productos de caucho (en forma de llantas, láminas y productos moldeados por extrusión), de fabricación de tableros aglomerados de partículas, de fabricación de panela mediante cámara tradicional y de fabricación de materiales eléctricos cerámicos. Estas actividades industriales emiten CO<sub>2</sub> de manera unitaria, aun en mayor escala que actividades como la elaboración de los cementos, considerada como la clásica en este índice. Puede observarse también que la fabricación de azúcar, debido a sus altos requerimientos

energéticos provoca niveles de emisión de CO<sub>2</sub> que se encuentran en el orden de una tonelada de CO<sub>2</sub>/tonelada de azúcar.

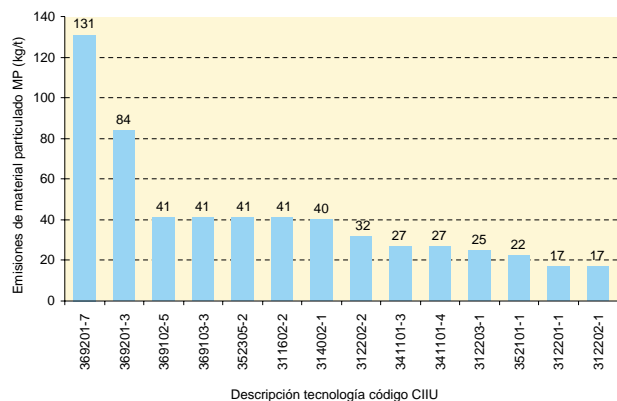
Así mismo, puede afirmarse que el uso del gas, como combustible en la elaboración de un producto específico, provoca una disminución en la emisión de CO<sub>2</sub> cercana a 20%. Es importante señalar que los sectores industriales que utilizan la biomasa como fuente de energía para la combustión (fabricación de panela y refinación de azúcar), presentan niveles de emisión de CO<sub>2</sub> ligeramente mayores a los reportados en el gráfico 12.18, pero no tienen mayor incidencia sobre el índice global.

## Emisión de material particulado

La emisión de material particulado sólido puede originarse en cualquier etapa del proceso de producción, principalmente en las etapas de generación o que manipulen vapor, siendo ésta última dependiente del contenido de cenizas del combustible empleado. Es importante destacar que los mayores contenidos de ceniza se dan con aquellos combustibles de carácter sólido, especialmente carbones bituminosos y sub-bituminosos. Los principales aportes de esta emisión se centran en los procesos industriales en que se manejan sólidos como producto o como materia prima. (En este análisis no se incluye la reducción de la emisión de material particulado por la presencia de tecnologías de control, ya que éstas difieren sustancialmente en la eficiencia de separación.)

Tal es el caso de la producción de cementos a través de todas las tecnologías en uso en el país (más de 120 kg de material particulado/t de cemento), de la fabricación de productos de arcilla para la construcción (con 40 kg/t), de la fabricación de detergentes en polvo (40 kg/t), de la producción de harina del maíz (40 kg/t) y de la elaboración de cigarrillos (40 kg/t). Vale la pena mencionar también los aportes de las actividades industriales

correspondientes a la elaboración de pulpas para papel (en todas sus variantes tecnológicas), a la fabricación de alimentos concentrados para animales (ya sea en *pellet* o en harina) y de la fabricación de pinturas y barnices (*gráfico 12.19*).

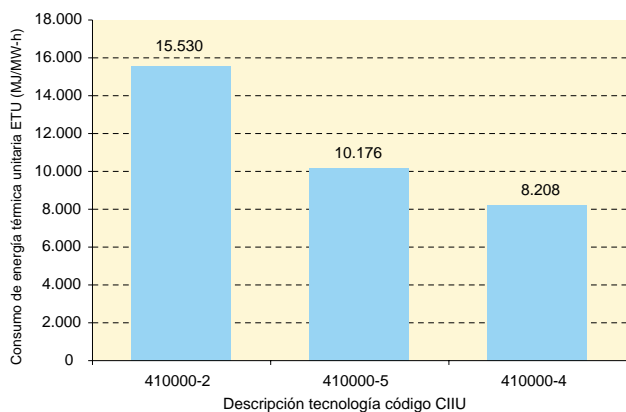


**Gráfico 12.19.** Emisiones de material particulado por tecnología.

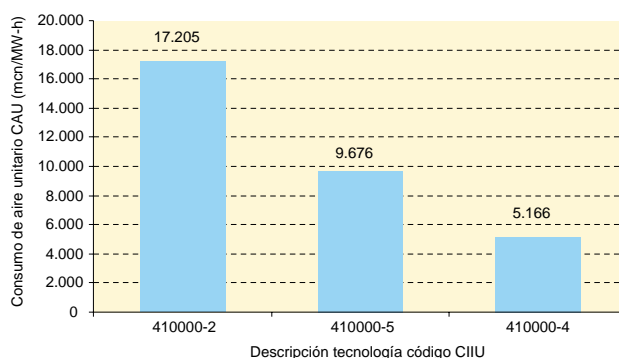
## Indicadores de desempeño ambiental del sector termoeléctrico

El sector termoeléctrico presenta características particulares por desarrollarse dentro de la actividad económica generadora de servicios. De hecho, el producto principal que se genera en esta industria no puede medirse en términos de masa tal como se ha hecho en los otros sectores industriales de la muestra de estudio. Por tanto, al estudiar ambientalmente este sector y definir sus índices de desempeño, conviene referenciar el análisis a los megawatios-hora (Mwh) producidos bajo las diferentes combinaciones de combustible-tecnología disponibles en el país.

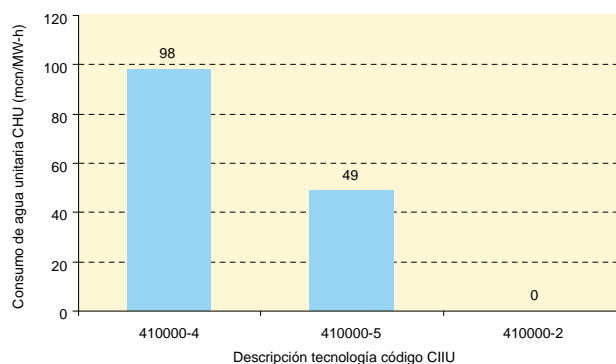
A continuación, en los *gráficos 12.20 a 12.28*, se muestran los principales índices ambientales unitarios para tres tecnologías de termogeneración eléctrica.



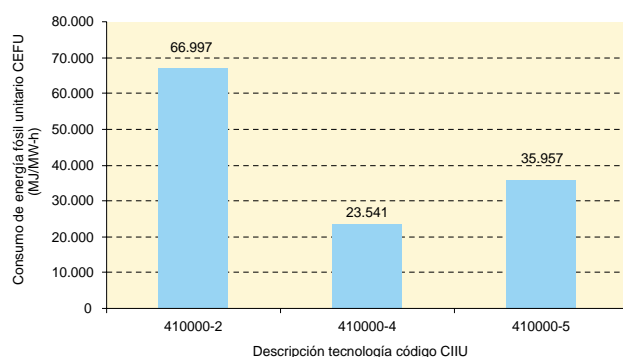
**Gráfico 12.20.** Consumo de energía térmica unitaria en termoeléctricas.



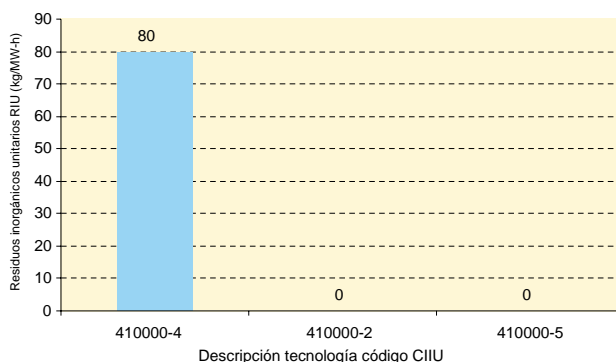
**Gráfico 12.21.** Consumo de aire unitario en termoeléctricas.



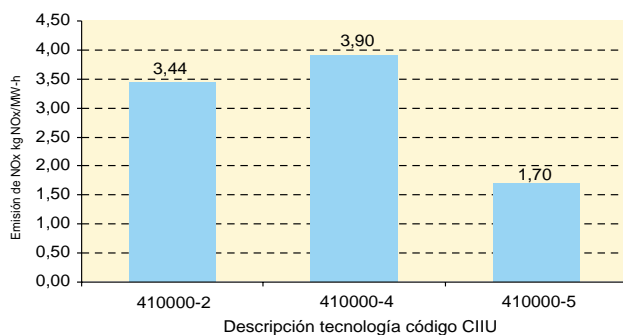
**Gráfico 12.22.** Consumo de agua unitaria en termoeléctricas.



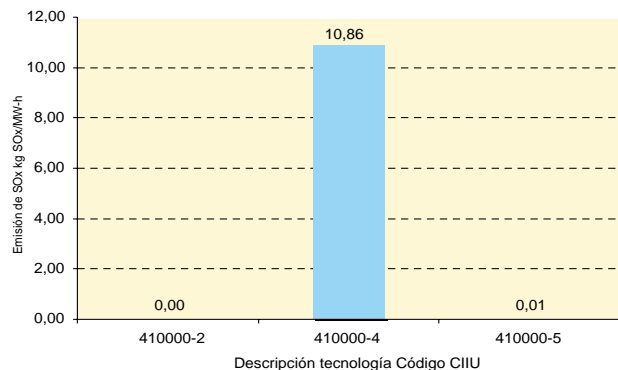
**Gráfico 12.23.** Consumo de energía fósil unitario en termoeléctricas



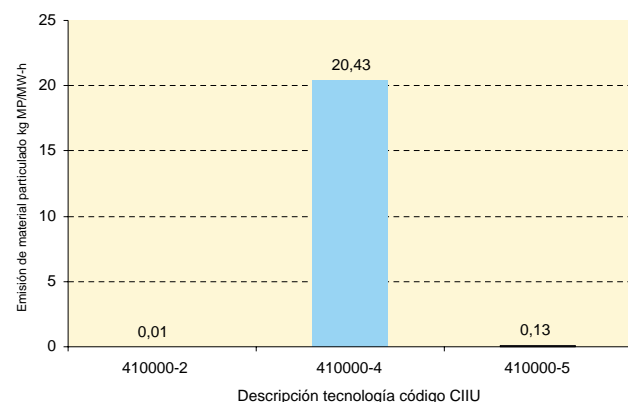
**Gráfico 12.24.** Residuos inorgánicos unitarios en termoeléctricas.



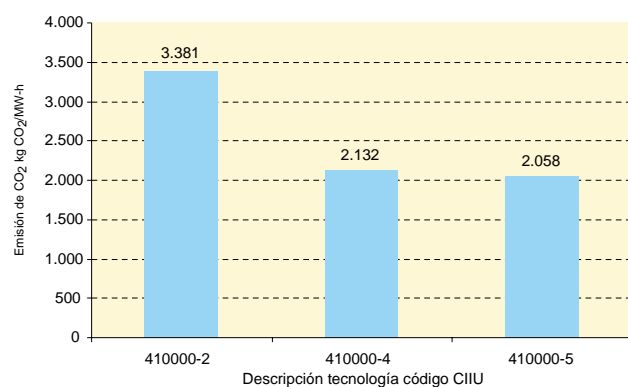
**Gráfico 12.25.** Emisión de NO<sub>x</sub> en generación termoeléctrica.



**Gráfico 12.26.** Emisión de SO<sub>x</sub> en generación termoeléctrica



**Gráfico 12.27.** Emisión de NO<sub>x</sub> en generación termoeléctrica.



**Gráfico 12.28.** Emisión de CO<sub>2</sub> en generación termoeléctrica.

En cuanto al consumo de energía térmica necesaria para producir un Mwh, y de acuerdo con las eficiencias reportadas por las plantas térmicas que operan hoy en el país, puede afirmarse que aquellas que operan bajo el esquema de turbina a gas y con gas natural como combustible requieren 45% más de energía térmica que aquellas que utilizan turbinas a vapor y gas natural como combustible. Esta última tecnología puede también emplearse con carbón como combustible, lo que no genera mayores cambios en los requerimientos energéticos unitarios.

La tecnología de turbina a gas y con gas como combustible también presenta los más altos consumos de aire y de energía fósil, pero simultáneamente no requiere los grandes volúmenes de agua de la tecnología de turbinas a vapor. Si se comparan los niveles de emisión de óxidos de nitrógeno, la combinación turbina a gas-gas muestra índices de emisión más bajos que la combinación turbina a vapor-carbón, pero éstos son mayores si se comparan con la combinación turbina a vapor-gas.

En cuanto a la generación de residuos sólidos, las tecnologías de termogeneración basadas en gas natural prácticamente no cuentan, si se comparan con los 80 kg/Mwh que se producen con el uso del carbón. De igual forma, las emisiones de material particulado son bastante altas con el uso del carbón, independiente de la turbina que se emplee, y son nulas cuando se utiliza gas natural.

La emisión de óxidos de azufre sólo es significativa cuando se emplea carbón como combustible, llegando a niveles de hasta 10 kg/Mwh. En cambio, la emisión de CO<sub>2</sub> es significativa para todas las tecnologías de termogeneración, observándose que es mayor para la tecnología con turbina a gas y combustible gas. Sin embargo, es común encontrar que se emitan como mínimo dos toneladas de CO<sub>2</sub>/Mwh producido.

## Síntesis y evaluación del componente tecnológico de la industria colombiana en el medio ambiente

Terminada la síntesis del desempeño ambiental de cada una de las tecnologías utilizadas en las diferentes actividades de la industria colombiana que conforman el universo de la muestra del estudio “Sistema de información para la evaluación ambiental de los sectores productivos”; se presenta un resumen detallado de:

Consumo recursos	Emisiones	Vertimientos	Residuos sólidos
Energía térmica unitaria (ETU)	Óxidos nitrógeno unitario (NO <sub>x</sub> U)	Demanda bioquímica de oxígeno unitaria (DBOU)	Residuos inorgánicos unitarios (RIU)
Energía eléctrica unitaria (EEU)	Óxidos de azufre unitario (SO <sub>x</sub> U)	Demanda química de oxígeno unitaria (DQOU)	Residuos biomasa unitarios (RBU)
Consumo agua unitario (CHU)	Dióxido de carbono unitario (CO <sub>2</sub> U)	Sólidos suspendidos totales unitarios (SSTU)	
Consumo materia prima mineral unitario (CMPMU)	Material particulado (MPU)		
Consumo materias primas vegetales unitarias (CMPVU)	Emisiones potencialmente tóxicas unitarias (EPTU)		

**Tabla 12.4.** Indicadores de desempeño ambiental.

- El desempeño tecnológico ambiental
- La síntesis global de indicadores y agresividad tecnológica para los grupos evaluados
- Un resumen de indicadores por clasificación de tecnologías:

## Metodología de análisis

Se analiza a través del diseño y aplicación de diversos indicadores referenciados por unidad de producto elaborado y se establece una jerarquización final agregada, teniendo en cuenta el o los recursos afectados. De esta manera, se agrupan todas las tecnologías y sus índices correspondientes en cuatro categorías:

- Por consumo de recursos
- Por emisiones atmosféricas
- Por vertimientos, y
- Por residuos sólidos

El análisis por grupo se realiza con el fin de discriminar las áreas más críticas para cada actividad industria; se debe tener en cuenta que se trata de una aproximación a través de índices unitarios de desempeño. Por tanto, se recalca que no se presenta el aporte total de contaminantes por sectores industriales que utilizan las tecnologías citadas en este estudio, sino más bien se trata de visualizar la conveniencia de mantener o no los esquemas productivos utilizados en la actualidad. Los valores cuantitativos y cualitativos empleados se resumen de la siguiente manera:

El grupo de investigación seleccionó 15 indicadores y se agruparon en los cuatro grupos mencionados, como se muestra en la *tabla 12.4*.

Para cada indicador, se identificaron las diez primeras tecnologías con mayor incidencia ambiental, asignándoles un puntaje descendente, es decir: diez puntos para la tecnología más agresiva ambientalmente y un punto para la décima tecnología en este escalafón. De esta forma, se obtuvieron puntajes para cada tecnología por in-

dicador y un escalafón final de tecnologías para cada uno de los grupos. Cabe señalar que para el estudio se asignó el mismo peso específico a cada indicador, con el fin de obtener agregados parciales correspondientes a cada uno de los grupos seleccionados.

A partir de los agregados parciales obtenidos por tecnología, se generó una clasificación global que, si bien no permite discriminar los efectos prioritarios relacionados con cada tecnología, si da una idea general de las tecnologías con mayor agresividad en los diferentes sectores industriales.

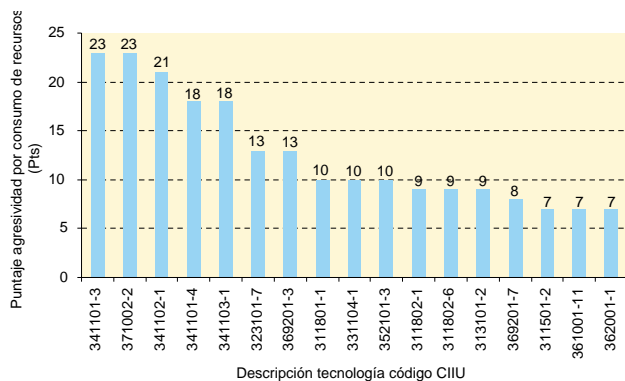
En este análisis no se incluyó al sector termoeléctrico, ya que los indicadores utilizados en este caso están referenciados por MWh generado y no por tonelada de producto elaborado, lo cual imposibilita efectuar comparaciones con el resto de las actividades estudiadas.

El puntaje máximo de referencia es de 150 puntos, que equivale a tener una hipotética tecnología que es la más agresiva ambientalmente para cada uno de los 15 indicadores contemplados (*tabla 12.4*).

La síntesis global de la agresividad tecnológica para los cuatro grupos se resume en un grupo de indicadores de desempeño ambiental y una gráfica con las tecnologías más agresivas

## Grupo 1. Consumo de recursos

Como se observa en el *gráfico 12.29*, de las cinco tecnologías destacadas, cuatro se refieren al sector de fabricación de papel y productos de papel: de pulpa química al sulfato *-kraft-* blanqueada, con sistema de recuperación química; de papeles varios por la máquina Fourdrinier; de pulpa química al sulfato (*kraft*) sin blanquear, con sistema de recuperación química, y de cartones varios por medio de la máquina Fourdrinier; y la quinta tecnología es la producción de arrabio por reducción de mineral de hierro con coquización y alto horno.

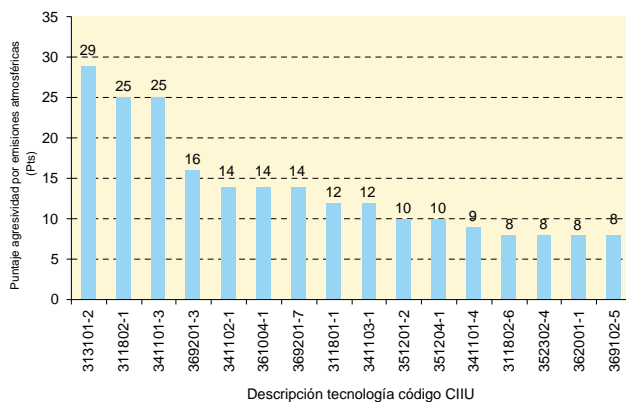


**Gráfico 12.29.** Agresividad de las tecnologías por consumo de recursos.

## Grupo 2. Emisiones atmosféricas

En este grupo (*gráfico 12.30*) se destacan las siguientes tecnologías (no se tomó en cuenta el efecto ambiental generado por los diversos gases emitidos):

- Fabricación de alcohol etílico por fermentación discontinua de melaza y destilación multietapa
- Producción de panela en bloque con prelimpiadores, cámara *ward* y pailas evaporadoras aleteadas
- Fabricación de pulpa de química al sulfato (*kraft*) blanqueada, con sistema de recuperación química
- Fabricación de cemento por vía húmeda, con decantación y como combustible gas natural
- Producción de papeles varios por medio de la máquina Fourdrinier



**Gráfico 12.30.** Agresividad de las tecnologías por emisiones atmosféricas.

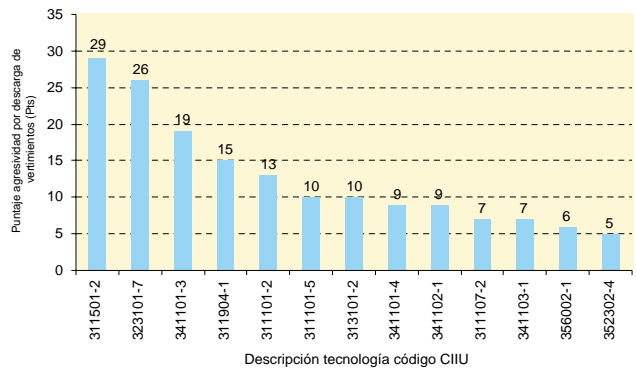
## Grupo 3. Vertimientos

Las tecnologías con mayor impacto de este grupo son:

- Extracción de aceite vegetal por prensado con centrifugación
- Producción de cuero curtido al mineral con depilado químico, secado al vacío y secado mecánico

- Fabricación de pulpa química al sulfato (*kraft*) blanqueada, con sistema de recuperación química
- Producción de caramelos por cocción instantánea, mezclado manual y cámara de enfriamiento rápida
- Matanza de ganado mayor con elevación mecánica, procesamiento de sangre, sin limpieza de vísceras, con o sin refrigeración

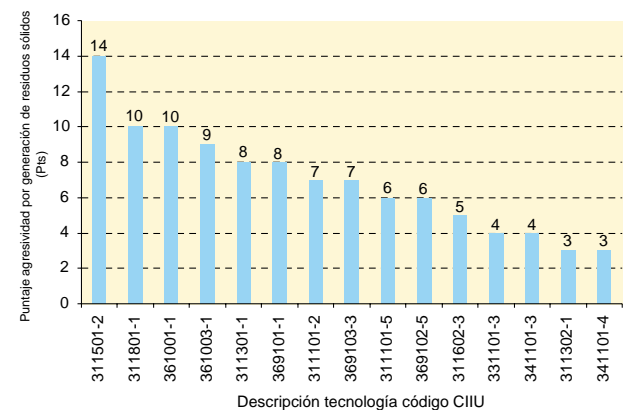
Las tecnologías con mayor impacto pertenecen en su gran mayoría al sector productor y procesador de alimentos, aunque cabe destacar el proceso de curtido de cuero, como lo muestra en el *gráfico 12.31*.



**Gráfico 12.31.** Agresividad de las tecnologías por descarga de vertimientos.

## Grupo 4. Residuos sólidos

En este grupo se incluyen todos los aportes de residuos sólidos sin diferenciar su posible utilización como subproducto con algún valor agregado. Además, debe tenerse en cuenta que no se incluyen los residuos de cenizas provenientes de la producción industrial de vapor. Se destacan principalmente las tecnologías que generan grandes cantidades de residuos de biomasa de origen vegetal y las correspondientes a la fabricación de productos minerales no metálicos (*gráfico 12.32*).



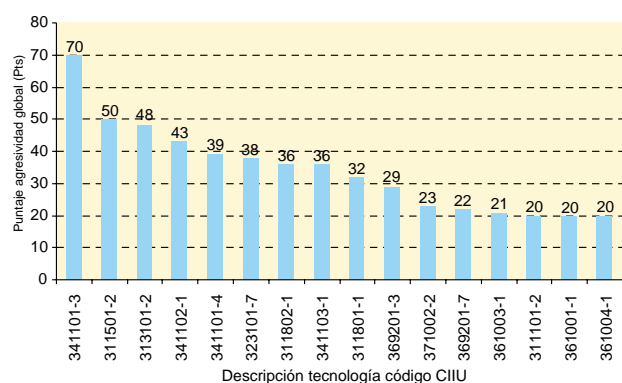
**Gráfico 12.32.** Agresividad de las tecnologías por generación de residuos sólidos.

# Síntesis global de indicadores y agresividad tecnológica para los grupos evaluados

El resultado del análisis a las tecnologías con mayor agresividad se expresa en el *gráfico 12.33* y la *tabla 12.5*. En el gráfico se observa que, según la descripción de tecnología aplicada con el código CIU y los puntos obtenidos en el análisis global, las que presentan un estado crítico de agresividad en las diferentes etapas de producción.

En conclusión, con las herramientas del Sistema de Información Ambiental, los indicadores de síntesis de los diferentes sectores y la actualización sistemática de los datos, se obtiene la evaluación de cada sector productivo, útil para el apoyo logístico en el diseño ambiental para reconversión industrial, producción limpia y uso de tecnologías ecológicas (Agenda 21).

La síntesis de los indicadores de las tecnologías que afectan los recursos y de las que contaminan dentro del grupo tecnológico analizado, se muestra en la *tabla 12.6*.



**Gráfico 12.33.** Agresividad global de las tecnologías. Adaptación por IDEAM, 2000, de perfiles tecnológicos, IDEAM-UIS.

Código CIU	Tecnología	Producto	Agresividad (puntos)
341101-3	Fabricación de pulpa química al sulfato (kraft) blanqueada, con sistema de recuperación química.	Papel sulfito	70
311501-2	Extracción de aceite vegetal por prensado con centrifugación.	Aceite vegetal	50
313101-2	Fabricación de papeles varios para la máquina Fourdrinier.	Papel	48
341102-1	Fabricación de pulpa química al sulfato (kraft) sin blanquear, con sistema de recuperación química.	Papel	43

**Tabla 12.5.** Análisis de la agresividad de las tecnologías. (Fuente: Adaptado de IDEAM, 2000, de *Perfiles tecnológicos*, IDEAM-UIS)

Código CIU	Tecnología	Producto	Agresividad (puntos)
323101-7	Producción de cuero curtido al mineral con depilado químico, secado al vacío y pintado mecánico.	Cuero	39
311802-1	Producción de panela en bloque con prelimpiadores, cámara ward y pailas evaporadoras aleteadas.	Panela	38
341103-1	Producción de cartones varios por medio de máquina fourdrinier.	Cartón y corrugados	36
311801-1	Fabricación de azúcar crudo por empapado, clarificación por centrifuga, evaporación multiefecto y cristalización discontinua.	Azúcar	36
369201-3	Fabricación de cemento por vía húmeda, con decantación, combustible gas natural.	Cemento	32
371002-2	Producción de arrabio por reducción de mineral de hierro con coquización y alto horno.	Arrabío y Acero	29
369201-7	Producción de cemento por vía seca, con horno largo, combustible carbón.	Cemento	23
361003-1	Producción de artículos cerámicos por molienda discontinua, secado por atomizado.	Cerámicas	22
311101-2	Matanza de ganado mayor con elevación mecánica, refrigeración, procesamiento de sangre sin limpieza de vísceras.	Carnes	21
361001-1	Producción de ladrillos refractarios por molienda discontinua, moldeo prensado y cocción continua.	Ladrillos	20
361004-1	Producción de artículos eléctricos cerámicos por molienda discontinua, moldeo en húmedo por extrusión y monococción.	Cerámicas	20

**Tabla 12.5.** Análisis de la agresividad de las tecnologías. Continuación. (Fuente: Adaptado de IDEAM, 2000, tomado de *Perfiles tecnológicos*, IDEAM-UIS)

Tecnología	Impacto	Indicador
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fermentación discontinua de melaza y destilación multietapa. Producción de panela en bloque (cámara Ward y pailas evaporadoras).</li> <li>• Fabricación de pulpa al sulfato (Kraft) con blanqueo y recuperación química.</li> <li>• Fabricación de cemento por vía húmeda. Producción de papeles (máquina Fourdrinier).</li> </ul>	<p>Oferta y calidad del aire:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo de aire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisiones gaseosas (cantidad y calidad de gases emitidos a la atmósfera).</li> <li>• Disipación de energía hacia la atmósfera.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sector de fabricación de papel y productos de papel y cartón.</li> <li>• Producción de arrabío por reducción de mineral de hierro con coquización y alto horno.</li> </ul>	<p>Sobre el componente hídrico:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo de agua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vertimientos líquidos (cantidad y calidad de los efluentes, impacto térmico).</li> <li>• Capacidad de recuperación natural del recurso hídrico afectado.</li> <li>• Agotamiento del recurso por exceso de consumo.</li> <li>• Afectación condiciones y ecosistemas acuáticos naturales.</li> </ul>
<p>Tecnologías que generan grandes cantidades de residuos de biomasa de origen vegetal y las correspondientes a la fabricación de productos minerales no metálicos.</p>	<p>Sobre el suelo</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Área ocupada</li> <li>• Cambio en uso del suelo</li> <li>• Materia prima de origen mineral.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Residuos sólidos (cantidad, calidad y permanencia de los residuos).</li> <li>• Degradación del suelo.</li> <li>• Afectación de aguas subterráneas por lixiviados.</li> </ul>
<p>Las tecnologías con mayor impacto pertenecen en su gran mayoría al sector productor y procesador de alimentos, aunque cabe destacar el proceso de curtido del cuero.</p>	<p>Sobre los recursos naturales no renovables:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Materias primas de origen vegetal.</li> <li>• Materias primas de origen animal.</li> </ul>	<p>Factores de impacto sobre la calidad del aire, del agua y del suelo que generan impacto indirecto sobre los ecosistemas.</p>

**Tabla 12.6.** Diagnóstico de ecoeficiencia de tecnologías que afectan los recursos y de las que contaminan. (Fuente: IDEAM, 2000)





---

## Referencias bibliográficas



Abocol, SA, 1992-1993. *Manual de operaciones de la planta modernizada de abonos complejos*

Acoplásticos, 1996. *Plásticos en Colombia: Plásticos, cauchos, petroquímica, pinturas y tintas*. Santa Fe de Bogotá

Anderson, R, 1995. *Visión mundial de la industria del cuero y su evolución. XIII Congreso Latinoamericano de Químicos y Técnicos de la Industria del Cuero*. Cartagena

Aparicio, IE, 1995. *Informativo*. Cementos Boyacá

Buitrago, S, 1967. *Planificación de una planta para elaborar jugos, néctares y mermeladas*. Bucaramanga (Colombia): Proyecto de grado UIS

Bula, G. Duque, X, 1995. *Estudio de factibilidad para el montaje de una planta procesadora de cacao en el municipio de San Vicente*. Tesis de Grado. UIS

Compañía Nacional de Chocolates SA, 1996. "Informe de estado de emisión por fuentes fijas", formulario IE-1. 1996.

- Coronado, M y R Oropeza, 1998. "Manual de prevención y minimización de la contaminación industrial"
- Corporación Autónoma para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), sf. "Caracterización ambiental de una planta de aceites y grasas"
- Chinchilla, H, 1994. "Planta para obtención de pulpa de fruta". Bucaramanga: Proyecto de Grado, UIS
- Comision Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). *Innovación en tecnologías y sistemas de gestión ambientales en empresas líderes latinoamericanas*.
- Corpoica. *Curso nacional caña panelera y su procesamiento*. Convenio de investigación para el mejoramiento de la industria de la panela (CIIMPA)
- DAMA-CINSET, 1996. *Valoración del impacto ambiental de la pequeña y mediana industria*.
- Departamento Nacional de Estadísticas (DANE), 1991. "Encuesta anual manufacturera"
- Dovi, VG. 1994. "Monitoreo de las nuevas tecnologías intrínsecamente limpias". I Seminario Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible: Bucaramanga
- Ecopetrol-Escuela Colombiana de Ingeniería, 1995. *Desarrollo y estado actual de las emulsiones asfálticas en Colombia*
- EPA, 1996. *Compilation of Air Pollutant Emission Factors*. 5th ed. y supplements. Versión internet.
- Estevez, J Marginet, X, 1995. "Disminución de DQO en baños residuales mediante el uso de polímeros recurtientes - engrasantes (PRE)". XIII Congreso latinoamericano de químicos y técnicos de la industria del cuero. Cartagena
- Estrada, G, y Monsalve, N, 1989. "Análisis industrializado de una planta de sacrificio de aves y diseño del sistema de desplumado, refrigeración e hidratación y transporte aéreo de las mismas". Tesis de grado. UIS
- Ministerio del Medio Ambiente, 1995. Estudio ambiental del sector mataderos. Ministerio del Medio Ambiente, Unidad de Soporte para el Control de la Contaminación Industrial. Bogotá.
- Fedepalma. *Anuario estadístico*. 1996
- Fertilizantes Colombianos, SA, 1973. Manual de operaciones. Ácido nítrico. Barrancabermeja
- Field, BC. 1996. *Economía y medio ambiente*. McGraw-Hill: Santa Fe de Bogotá
- Fiksel, J, 1998. *Ingeniería de diseño medioambiental*. McGraw-Hill
- Fundación Mapfre. 1994. "Manual de contaminación ambiental, ITSEMAP"
- García, JA y Pedraza, D, 1996. "Informe final del diagnóstico tecnológico de plantas extractoras de aceite de palma en Colombia". Cenipalma: Santa Fe de Bogotá
- García, JA, 1993. "Estado actual del manejo de efluentes en Colombia", *Palmas* (Colombia), vol. 14: 141 - 147
- García, JE, 1982. "Automatización de una planta de secamiento y trilla de arroz". Tesis de grado UIS
- Gil, N, Durán, N, García, H-CIMPA, 1992. *Manual de elaboración de panela y otros derivados de la caña*. Barbosa
- Goedkoop, MJ, 1995. *The Eco-Indicator 95, Final Report*. NOH Report 9523. Pré Consultants: Amersfoort Gordillo, G, García, H-CIMPA. *Manual para el diseño y operación de hornillas paneleras*. Barbosa
- Konasewich, de y Henning, FA, 1988. *Pentachlorophenol (PCP) thermal wood preservation facilities, recommendations for design and operation*, Environment Canada, Report EPS 2/WP/2-5
- Ludevid i Anglada, M, 1998. *El cambio global en el medio ambiente*. Alfaomega, Grupo editor, México
- Lindeijer, EW, 1993. *An Environmental Indicator for Emissions*. Centre for Energy Conservation and Environmental Technology (CE) and the Interdisciplinary Department of Environmental Science (IDES) of the University of Amsterdam.
- Llorente, L, et al., 1985. *Criterios generales para proyectos de mataderos en Colombia*. Corporación de Estudios Ganaderos y Agrícolas
- Magaña, PA y Migaña, A, 1996. "Evaluación de una planta de aguas residuales de la industria embotelladora de bebidas gaseosas por medio de un sistema híbrido anaerobio-aerobio". Memorias IV Seminario latinoamericano de tratamiento anaerobio de aguas residuales. Bucaramanga, noviembre 19-22
- Monómeros Colombo-Venezolanos SA, 1995. Informe anual
- Ministerio de Minas y Energía. Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), 1996. Planteamiento estratégico del programa de reconversión a tecnologías limpias en termoeléctricas. Santa Fe de Bogotá
- Ministerio Minas y Energía, Ministerio del Medio Ambiente y Empresas públicas y privadas del sector eléctrico colom-

- biano, 1997. Convenio de concertación para una producción más limpia con el sector eléctrico.
- Ministerio del Medio Ambiente. 1995. Estudio de los mataderos de reses en Colombia. Santa Fe de Bogotá
- Ministerio del Medio Ambiente, 1998. *Programa hacia una producción más limpia*
- Mitja, IA, 1994. “La gestión del agua en el sector de mataderos”, en *Alimentación, equipos y tecnología*, pp: 121-127
- Onudi, 1997. *Pulp and Paper Sector Environmental Analysis*
- Perry, RE, 1996. *Manual del ingeniero químico*. Tomos I, II, III, V y VI. 6ª ed. McGraw-Hill
- Restrepo, LG, 1992. *Informe ambiental, industria de grasas y aceites- CVC*
- Revista Palmas. 1995. “Extracción de aceite de palmiste: Procesos”, vol. 16
- Revista Palmas. 1995. “Manejo ambiental de efluentes y emisiones de plantas extractoras”. Volumen 16
- Rodríguez, I, 1994. “Aprovechamiento de subproductos de la industria cárnica”, *Alimentación, equipos y tecnología*, vol. 13: pp. 69-73
- Superintendencia de Sociedades, 1994-1995. *Análisis económico. Sector agroindustrial*. División de Estudios Económicos y Financieros
- The Eco-indicator 95, 1995. NOH Reports 9510/9514/9514a, Pre, Amersfoort, The Netherlands
- Unidad de Planeación Minero-Energética, 1999. *Escenarios y estrategias*. Ministerio de Minas y Energía