

# Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad para la producción de oleoquímicos

## Introducción

Las Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad son documentos de referencia técnica que contienen ejemplos generales y específicos de la práctica internacional recomendada para la industria en cuestión<sup>1</sup>. Cuando uno o más miembros del Grupo del Banco Mundial participan en un proyecto, estas Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad se aplican con arreglo a los requisitos de sus respectivas políticas y normas. Las presentes Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para este sector de la industria deben usarse junto con el documento que contiene las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**, en el que se ofrece orientación a los usuarios respecto de cuestiones generales sobre la materia que pueden aplicarse potencialmente a todos los sectores industriales. Los proyectos más complejos podrían requerir el uso de múltiples guías para distintos sectores de la industria. Para una lista completa de guías sobre los distintos sectores de la industria, visitar: <http://www.ifc.org/ifcext/sustainability.nsf/Content/EnvironmentalGuidelines>

Las Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad contienen los niveles y los indicadores de desempeño que generalmente pueden lograrse en instalaciones nuevas, con la tecnología existente y a costos razonables. En lo que respecta a la posibilidad de aplicar estas guías a instalaciones ya existentes, podría ser necesario establecer metas específicas del lugar así como un calendario adecuado para alcanzarlas.

La aplicación de las Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad debe adaptarse a los peligros y riesgos establecidos

para cada proyecto sobre la base de los resultados de una evaluación ambiental en la que se tengan en cuenta las variables específicas del emplazamiento, tales como las circunstancias del país receptor, la capacidad de asimilación del medio ambiente y otros factores relativos al proyecto. La decisión de aplicar recomendaciones técnicas específicas debe basarse en la opinión profesional de personas idóneas y con experiencia.

En los casos en que el país receptor tenga reglamentaciones diferentes a los niveles e indicadores presentados en las Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad, los proyectos deben alcanzar los que sean más rigurosos. Cuando, en vista de las circunstancias específicas de cada proyecto, se considere necesario aplicar medidas o niveles menos exigentes que aquellos proporcionados por estas Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad, será necesario aportar una justificación exhaustiva y detallada de las alternativas propuestas como parte de la evaluación ambiental en un sector concreto. Esta justificación debería demostrar que los niveles de desempeño escogidos garantizan la protección de la salud y el medio ambiente.

## Aplicabilidad

Las Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para la producción de oleoquímicos contienen información relevante para las instalaciones donde se producen ácidos grasos, glicerina y biodiésel a partir de grasas y aceites de origen vegetal y animal. El Anexo A contiene una descripción de las actividades de este sector industrial.

Este documento está dividido en las siguientes secciones:

- Sección 1.0: Manejo e impactos específicos de la industria
- Sección 2.0: Indicadores y seguimiento del desempeño
- Sección 3.0: Referencias y fuentes adicionales
- Anexo A — Descripción general de las actividades de la industria

## 1.0 Manejo e impactos específicos de la industria

La siguiente sección contiene una síntesis de las cuestiones relativas al medio ambiente, la salud y la seguridad asociadas a la producción de oleoquímicos que tienen lugar durante la fase operacional, así como recomendaciones para su manejo. Por otra parte, en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** se ofrecen recomendaciones sobre la gestión de las cuestiones de este tipo que son comunes a la mayoría de los grandes establecimientos industriales durante las etapas de construcción y de desmantelamiento.

### 1.1 Medio Ambiente

Los problemas medioambientales relacionados con el sector de producción de oleoquímicos incluyen principalmente:

- Emisiones al aire
- Aguas residuales
- Materiales peligrosos
- Residuos y derivados
- Ruido

La optimización de las condiciones del proceso (vinculada a la selección adecuada de materias primas de calidad) reduce de forma significativa el impacto ambiental de estas plantas al limitar la producción de residuos, aguas residuales y emisiones a la atmósfera.

#### Emisiones al aire

Las plantas dedicadas a la producción de oleoquímicos consumen por lo general grandes cantidades de energía destinada a calentar el agua y producir vapor para las aplicaciones de proceso (como son los procesos de separación, refinado y destilación). El consumo de energía también está asociado a los sistemas de refrigeración y aire comprimido.

Estas instalaciones pueden disponer de centrales eléctricas propias para abastecerse de electricidad.

Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** contienen directrices sobre las emisiones relacionadas con las centrales de generación de vapor y energía a partir de fuentes con una capacidad igual o inferior a 50 MW, y las guías sobre emisiones procedentes de centrales de mayor capacidad se analizan en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad para centrales térmicas**. Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** contienen recomendaciones detalladas sobre eficiencia energética.

#### *Producción de ácidos grasos*

Las emisiones al aire resultantes de la producción de ácidos grasos incluyen principalmente emisiones fugitivas de compuestos orgánicos volátiles (COV), incluido el hexano generado durante los procesos de fraccionamiento de disolventes; emisiones fugitivas de hidrógeno procedente de las unidades de hidrogenación; emisiones de olor procedentes de ácidos grasos de pequeño peso molecular; y productos de degradación tales como cetonas y aldehídos procedentes de tanques de almacenamiento y de las unidades de tratamiento previo, separación y destilación.

Algunas de las medidas de prevención y control de emisiones recomendadas consisten en:

- Implementar un proceso de recuperación de disolventes por medio de la destilación y condensación;
- Supervisar y registrar el consumo de disolventes e implementar un programa de mantenimiento para detectar, supervisar y minimizar las emisiones de hexano procedentes de la unidad de recuperación de disolventes y de las fugas en tuberías y conductos de ventilación; y

- Recoger y tratar las emisiones fugitivas de COV procedentes de tanques de almacenamiento y de unidades de tratamiento previo, separación y destilación. Para reducir las emisiones de disolventes y olores deberán instalarse filtros de carbón activado y sistemas de neutralización que empleen aceite o agua alcalina. Estudiar la alternativa de incinerar los vapores de disolvente y / o sustancias olorosas.

### *Producción de glicerina*

Los COV pueden generarse durante el tratamiento previo de soluciones glicéricas de baja calidad o en los sistemas generadores de vacío. Los COV pueden provocar emisiones olorosas debido a la presencia de productos de descomposición de bajo peso molecular.

Algunas de las medidas de prevención y control de emisiones recomendadas consisten en:

- Supervisar de forma continuada la presencia de metanol en las soluciones glicéricas empleadas para la producción de biodiésel;
- Mantener temperaturas tan bajas como sea posible durante las fases de tratamiento previo e instalar condensadores eficientes para minimizar las emisiones de COV; y
- Emplear sistemas de neutralización para reducir las emisiones al aire en las plantas que utilicen materias primas de baja calidad.

### *Producción de biodiésel*

Las emisiones al aire generadas durante la producción de biodiésel incluyen: COV, principalmente metanol, procedentes de los procesos de destilación y condensación del exceso de metanol al finalizar el proceso de transesterificación; emisiones fugitivas de COV procedentes de los reactores, el almacenamiento de metanol o fugas en las tuberías; metanol

resultante de la rectificación de metanol acuoso generado durante el proceso de esterificación; y emisiones de COV y olores asociados con el equipo generador de vacío empleado durante el proceso de destilación.

Algunas de las medidas de prevención y control de emisiones recomendadas consisten en:

- Cuando sea posible, eliminar el exceso de metanol empleado en la reacción de transesterificación antes de proceder a la fase de lavado para prevenir la presencia de metanol en los efluentes de aguas residuales y evitar así la necesidad de recurrir a rectificaciones adicionales de la solución acuosa de metanol y las emisiones de metanol a la atmósfera; e
- Instalar filtros de carbón activado y sistemas húmedos de neutralización o incineración de vapor para reducir las emisiones de COV y de olores generadas en las distintas unidades de la planta, incluidos los tanques de almacenamiento.

## **Aguas residuales**

### *Aguas residuales de procesos industriales*

#### **Producción de ácidos grasos**

Las plantas de producción de ácidos grasos generan un notable volumen de aguas residuales que contienen ácidos grasos y grasas en suspensión con elevados niveles de demanda biológica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO). Entre las fuentes de aguas residuales está la condensación de vapor de ácidos grasos procedente de pulverizadores de agua; el vertido de corrientes de ácidos grasos a altas presiones a la salida de las torres de separación; la condensación de vapor procedente de las operaciones de desodorización; y los generadores de vacío que emplean vapor de agua.

Algunas de las medidas recomendadas para el control y la reducción de la contaminación consisten en:

- Estudiar la posibilidad de instalar condensadores indirectos y bombas de vacío seco donde el agua no está en contacto con las corrientes de proceso de ácidos grasos para reducir el volumen de aguas residuales generado durante el proceso;
- Maximizar la reutilización de agua e instalar torres de refrigeración cuando sea necesario;
- Diseñar e instalar una unidad de flotación / sedimentación para procesar corrientes de agua generadas tanto durante las operaciones rutinarias (incluidos los procedimientos de limpieza) como durante circunstancias excepcionales (vertido accidental de grasas y aceites). El tratamiento biológico adicional deberá realizarse antes de los vertidos, dependiendo de las concentraciones de lodos influentes y de las normas vigentes sobre vertidos ; y
- Siempre que sea posible, recuperar y volver a procesar los lodos generados en la unidad de tratamiento durante el proceso de producción.

### **Producción de glicerina**

Durante la producción de glicerina se genera agua de condensación a partir de la evaporación y destilación de la solución glicérica y agua procedente de los sistemas generadores de vacío. El agua de condensación producida durante el proceso de destilación puede contener hasta un 30 por ciento de glicerina y de residuos de ésteres y ácidos grasos. El agua de condensación producida durante un proceso de evaporación de etapas múltiples puede contener pequeñas cantidades de glicerina y se caracteriza por elevados niveles de DOQ y DOB. El agua procedente de los sistemas generadores de vacío puede contener restos de glicerina.

Algunas de las medidas recomendadas para la prevención y el control de la contaminación consisten en:

- Reciclar el agua de condensación producida durante la destilación en el proceso de producción por medio del tratamiento de la cal y los ácidos, la filtración y la evaporación;
- En las plantas de producción de glicerina integradas con plantas de producción de ácidos grasos, reutilizar el agua de condensación resultante del proceso de condensación como materia prima en el proceso de separación de las grasas y el aceite;
- Considerar como alternativa al tratamiento y vertido biológico la reutilización del agua de condensación como agua de lavado para recuperar la glicerina a partir de los filtros usados de carbón activado;
- Neutralizar las soluciones ácidas y cáusticas recogidas mediante la reactivación de resinas durante los procesos de intercambio iónico empleados en el tratamiento de soluciones glicéricas antes de su eliminación;
- Utilizar bombas secas como generadores de vacío y condensadores indirectos donde que el agua no haya estado en contacto directo con los vapores para reducir el volumen de aguas residuales; y
- Reciclar el agua procedente de los sistemas de generación de vacío como agua de procesamiento siempre que sea necesario.

### **Producción de biodiésel**

El agua de lavado de ésteres es el principal efluente líquido generado en las unidades de producción de biodiésel. Contiene residuos orgánicos (ésteres, ácidos grasos, jabones, glicerina y restos de metanol) y ácidos y sales inorgánicas producidos durante la neutralización del catalizador residual con ácidos (normalmente, ácido clorhídrico y cloruro de sodio). El uso de ácido fosfórico representa un desafío para el tratamiento de las aguas residuales debido a los elevados niveles de fosfatos en la corriente, si bien genera a su vez sales que pueden reciclarse como fertilizantes. El agua generada por los sistemas de

neutralización y el proceso de rectificación contiene impurezas orgánicas y restos de metanol. Las aguas residuales generadas durante el proceso presentan por lo general una elevada carga de ácido orgánico diluido, lo que a su vez genera altos niveles de DOQ y DOB.

Algunas de las medidas recomendadas para la prevención y el control de la contaminación consisten en:

- Eliminar el exceso de metanol empleado en la reacción de transesterificación antes de proceder a la fase de lavado si fuera posible, o bien recuperarlo de las corrientes de aguas residuales;
- Tratar las aguas residuales sin metanol mediante una unidad de sedimentación / flotación destinada a recoger residuos flotantes, seguida de la neutralización y el tratamiento biológico previos al vertido; y
- Al utilizar el ácido fosfórico, supervisar las concentraciones de fosfato en las aguas residuales y ajustar o modificar los métodos de tratamiento de las mismas para cumplir con la normativa vigente sobre vertidos.

#### *Tratamiento de aguas residuales de procesos*

Las técnicas empleadas en el tratamiento de aguas residuales de procesos industriales en este sector incluyen filtros de grasas, equipos colectores de flotación, flotación por presurización-despresurización o separadores de agua/aceite para separar los aceites de los sólidos flotantes; filtración por separación de sólidos filtrables; ecualización de flujo y carga; sedimentación para la reducción de sólidos en suspensión utilizando clarificadores; tratamiento biológico, anaerobio (si la DOB de las aguas residuales fuera elevada) seguido de un tratamiento aerobio para la reducción de sustancias orgánicas solubles (DOB); eliminación de nutrientes químicos o biológicos para reducir el nitrógeno y el fósforo; cloración de los efluentes siempre que lo exija la desinfección; drenaje y eliminación de residuos en vertederos designados para residuos peligrosos. Es

posible que se requieran controles de ingeniería adicionales para (i) el confinamiento y tratamiento de compuestos orgánicos volátiles extraídos en las operaciones de diversas unidades en el sistema de tratamiento de agua residuales; (ii) la eliminación de compuestos orgánicos recalcitrantes empleando carbón activado u oxidación química avanzada; (iii) la reducción de la toxicidad de los efluentes empleando la tecnología adecuada (por ejemplo, ósmosis inversa, intercambio iónico, carbón activado, etc.) y (v) el confinamiento y la neutralización de olores molestos.

Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** explican la gestión de aguas residuales industriales y ofrecen ejemplos de enfoques para su tratamiento. Mediante el uso de estas tecnologías y técnicas recomendadas para la gestión de aguas residuales, los establecimientos deberían cumplir con los valores para la descarga de aguas residuales que se indican en el cuadro correspondiente de la Sección 2 del presente documento para la industria gráfica.

#### *Consumo de agua y otras corrientes de aguas residuales*

Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** dan orientaciones sobre el manejo de aguas residuales no contaminadas procedentes de operaciones de servicios públicos, aguas pluviales no contaminadas y aguas de alcantarillado. Las corrientes contaminadas deberían desviarse hacia el sistema de tratamiento de aguas residuales de procesos industriales. Las recomendaciones para reducir el consumo de agua, especialmente en aquellos sitios en que pueda ser un recurso natural escaso, se analizan en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**.

#### **Materiales peligrosos**

Las plantas de producción de oleoquímicos emplean una cantidad notable de sustancias peligrosas, incluyendo materias primas y productos intermedios / finales. La manipulación,

almacenamiento y transporte de estos materiales debe gestionarse adecuadamente para evitar o minimizar posibles impactos ambientales. Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** contienen las prácticas recomendadas para la gestión de sustancias peligrosas.

## Residuos y derivados

### *Producción de ácidos grasos*

Las principales corrientes de residuos generadas por la producción de ácidos grasos son tierras decolorantes usadas, breas y tortas de filtración de catalizadores usadas. Las tierras decolorantes usadas constituyen la principal corriente de residuos sólidos, oscilando entre el 0,5 y el 2 por ciento por peso de aceites y grasas tratados. Las tierras decolorantes usadas contienen hasta un 40 por ciento de materiales grasos, incluyendo impurezas como pigmentos colorantes, sustancias mucilaginosas, fibras, productos de degradación de proteínas, cenizas y jabones. Las breas son los residuos generados por la destilación de ácidos grasos. Las tortas de filtración de los catalizadores usados se producen a partir de la hidrogenación de las grasas. Tanto las tierras decolorantes como las tortas de filtración de los catalizadores usados tienen propiedades pirofóricas.

Entre las estrategias recomendadas para el manejo de residuos se encuentran:

- La adopción de una tecnología de filtración eficiente podría desempeñar un papel relevante en la reducción de la cantidad de sustancias grasas presente en los filtros usados, minimizando así tanto los residuos sólidos como la pérdida de grasa;
- Debería considerarse la posibilidad de reciclar los residuos ricos en grasas, como son las tierras decolorantes, o recuperar energía mediante la combustión. Otras alternativas de reciclaje incluyen su reutilización como materia prima en el sector de la construcción, fertilizantes y

dispersión sobre el terreno. Los niveles de contaminación deberían determinarse antes de su reutilización;

- Al emplear procesos de destilación continuada, las breas deberían rehidrolizarse y volver a destilarse durante un segundo proceso de destilación por lotes destinado a reducir el volumen de residuos generados;
- Debería estudiarse la posibilidad de reutilizar breas en la construcción de carreteras debido a sus propiedades hidrófugas, así como en la recuperación de energía mediante su combustión en calderas;
- Las tortas usadas de filtración de catalizadores de níquel son pirofóricas y deben secarse con nitrógeno antes de su almacenamiento y eliminación. El adecuado manejo de catalizadores usados sobre el terreno incluye la inmersión en agua de los catalizadores pirofóricos usados durante su almacenamiento temporal y transporte hasta el lugar donde se realizará el tratamiento para evitar reacciones exotérmicas no controladas;
- Los catalizadores usados se devolverán al fabricante para su regeneración o se enviarán a empresas especializadas en recuperación de metales. El manejo externo de los catalizadores usados por parte de empresas especializadas incluye la recuperación de metales pesados o preciosos mediante procesos de recuperación y reciclaje (siempre que sea posible) o su manejo y eliminación de acuerdo con las recomendaciones de manejo de residuos peligrosos e ino cuos descritas en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**. Los catalizadores que puedan contener platino o paladio deberán enviarse a un centro de recuperación de metales nobles; y
- En las plantas nuevas, debe estudiarse el uso de catalizadores de paladio de bajo impacto en lugar de catalizadores de níquel.

### *Producción de glicerina*

Los residuos y derivados generados durante la producción de glicerina incluyen fracciones pesadas procedentes de la destilación y residuos originados a partir de la filtración y / o decoloración, consistentes en carbones activos usados, arcillas activas y ayudas de filtro que contienen sustancias grasas, jabones, cal, sales coagulantes (como el sulfato de aluminio o el cloruro férrico) y pigmentos colorantes.

Entre las estrategias recomendadas para el manejo de residuos se encuentran:

- Estudiarse la posibilidad de reciclar los filtros usados no contaminados con metales pesados y disolventes para servir de pienso animal o fertilizante, especialmente si contienen sales producidas durante la neutralización del hidróxido potásico con ácido fosfórico;
- Segregar y manejar los filtros contaminados de acuerdo con las guías de gestión de residuos descritas en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**; y
- Utilizar fracciones pesadas procedentes de la destilación como glicerina de baja calidad o como combustible para la producción de energía, una vez finalizada la fase de concentración.

### *Producción de biodiésel*

Los residuos sólidos y derivados de la producción de oleoquímicos incluyen sedimentos de sal procedentes de los catalizadores usados durante la fase glicérica de neutralización; ácidos grasos y jabones grasos; las tierras decolorantes usadas y las ayudas de filtros se generan a partir de la purificación de materias primas de baja calidad; y los ésteres de ebullición de fracción pesada y ligera resultantes del proceso de destilación.

Entre las estrategias recomendadas para el manejo de residuos se encuentran:

- Estudiar la posibilidad de reciclar sales de catalizadores usados como fertilizantes, siempre que se utilice el hidróxido potásico como catalizador y el ácido fosfórico como neutralizador;
- Gestionar el tratamiento y la eliminación de las tierras decolorantes y los filtros tal y como se describe para las corrientes de residuos procedentes de la producción de ácidos grasos;
- Los jabones grasos deberán neutralizarse y los ácidos grasos producidos deberán recuperarse y esterificarse mediante ésteres de metilo recurriendo a la esterificación con catálisis ácido-base;
- Reutilizar los ésteres de ebullición de fracción pesada y ligera en distintos sectores de producción de oleoquímicos cuyos requisitos de calidad sean inferiores; y
- Considerar la posibilidad de utilizar breas de baja calidad como combustible en la producción de energía.

### **Ruido**

Las fuentes más frecuentes de emisiones de ruido son compresores y turbinas, bombas, motores eléctricos, sistemas de refrigeración de aire, tambores giratorios, esferodizadores, cintas transportadoras, grúas, calentadores de aire, y la despresurización de emergencia. Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** ofrecen orientaciones sobre el control y la minimización del ruido.

## **1.2 Higiene y seguridad ocupacional**

Los peligros relacionados con la higiene y la salud ocupacional en las plantas deberían identificarse sobre la base de un análisis de seguridad laboral o de una evaluación comprensiva de peligros y riesgos que empleen metodologías tales como el estudio de identificación de peligros [HAZID], estudio de peligros y operabilidad [HAZOP] o análisis cuantitativo de riesgos [QRA]. En general, la planificación de la gestión de higiene y seguridad incluirá la adopción de una aproximación

sistemática y estructurada para prevenir y controlar los peligros físicos, químicos, biológicos y radiológicos para la higiene y la seguridad descrita en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**.

Los problemas relacionados con la higiene y la seguridad ocupacional en las plantas de producción de oleoquímicos incluyen:

- Seguridad en los procesos
- Riesgos de origen químico
- Incendios y explosiones
- Otros riesgos laborales

### *Seguridad en los procesos*

Los programas de seguridad en los procesos deberán implementarse debido a las características específicas del sector, entre ellas las complejas reacciones químicas, el uso de sustancias peligrosas (por ejemplo, compuestos tóxicos, reactivos, inflamables o explosivos) y reacciones de síntesis orgánica de escalones múltiples.

El manejo de la seguridad en los procesos incluye las siguientes acciones:

- Pruebas de riesgos físicos para materiales y reacciones;
- Estudios de análisis de riesgos para revisar las prácticas químicas y de ingeniería del proceso, incluyendo termodinámica y cinética;
- Examen del mantenimiento preventivo y la integridad mecánica de los sistemas y servicios de proceso;
- Capacitación de trabajadores; y
- Elaboración de instrucciones operativas y procedimientos de respuesta ante emergencias.

### *Riesgos de origen químico*

Las actividades relacionadas con la producción de oleoquímicos pueden plantear un riesgo de exposición a agentes químicos peligrosos tales como la inhalación de hexano, metanol y otros disolventes empleados para la extracción; la inhalación y exposición dérmica a agentes químicos tóxicos, incluidos ácidos y bases; la inhalación de polvo generado por el transporte de materias primas; y la inhalación de polvo procedente de tierras decolorantes, ayudas de filtros y catalizadores. Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** proporcionan orientaciones para la gestión de riesgos de origen químico en el lugar de trabajo.

Entre las recomendaciones adicionales para el sector se incluyen:

- La capacitación de los empleados para el manejo de productos químicos, como por ejemplo la correcta interpretación de las especificaciones sobre seguridad de las sustancias, las fichas internacionales de seguridad química y las técnicas de primeros auxilios (los trabajadores estacionales o temporales deberían recibir capacitación antes de trabajar con productos químicos);
- Proporcionar a los empleados el equipo de protección personal (EPP) necesario cuando así lo especifique el análisis de seguridad laboral y los datos de seguridad correspondientes;
- Garantizar una adecuada circulación del aire para reducir la concentración de disolventes en las zonas dedicadas a la extracción de aceite;
- Proporcionar una ventilación adecuada, especialmente en los puestos de trabajo que impliquen el manejo de materias primas, molturación, manejo de tierras decolorantes y uso de disolventes;

- Garantizar una adecuada destilación del aceite después de la extracción para lograr una eliminación efectiva de los disolventes;
- Llevar a cabo el mantenimiento preventivo que ayude a reducir el riesgo de quemaduras debido al contacto con las tuberías conductoras de vapor de agua y todas las superficies calientes; y
- Siempre que sea factible, emplear para la limpieza agua caliente en lugar de disolventes.

### *Incendios y explosiones*

La producción de oleoquímicos puede plantear el riesgo de explosiones como resultado de la volatilización de disolventes (por ejemplo, el hexano), y los incendios provocados por las tierras decolorantes usadas con aceites con altos índices de yodo, catalizadores usados y altas temperaturas ambiente. Entre las recomendaciones para prevenir y controlar el riesgo de incendios y explosiones se incluyen:

- Mantener la concentración de COV en el aire por debajo del 10 por ciento de los límites explosivos inferiores;<sup>1</sup>
- Prevenir las fugas y vertido de aceites en la planta de extracción;
- Controlar la temperatura de punto de inflamación de los aceites extraídos entrantes y emplear controles de temperatura en todas las instalaciones receptoras de aceites disolventes extraídos;
- Implementar medidas de control y prevención de incendios y autoignición durante el almacenamiento y manejo de catalizadores y tierras decolorantes usados;
- Secar con nitrógeno los filtros de los catalizadores pirofóricos usados y almacenarlos en contenedores sellados para evitar cualquier contacto con el aire;

- Utilizar materiales no combustibles en los sistemas de manipulación de metanol e hidrógeno;
- Ubicar la zona de almacenamiento de hidrógeno a una distancia segura de las restantes instalaciones de la planta;
- Diseñar tanques de almacenamiento, tuberías y sistemas que utilicen hidrógeno para prevenir las posibles acumulaciones de hidrógeno;
- Instalar detectores de fugas de hidrógeno en lugares seleccionados a partir de análisis de riesgo;
- Dotar los sistemas de manipulación de hidrógeno con dispositivos de válvula de cierre automático;
- Prevenir la acumulación de metanol y otros vapores de COV en toda la planta. Por ejemplo, el diseño de los reactores deberá garantizar la conservación del metanol en estado líquido aun en condiciones de baja presión; e
- Instalar sistemas adecuados para refrigerar tanques, tuberías y reactores y así evitar la autoignición del metanol en caso de alterarse las condiciones en la planta o producirse un fallo en los equipos.

### **Otros riesgos ocupacionales**

Los riesgos físicos en las plantas dedicadas a la producción de oleoquímicos son similares a los descritos para otros sectores de la industria, a saber, las caídas provocadas por suelos y escaleras resbaladizos, choques con vehículos destinados al transporte interno (por ejemplo, camiones) y el contacto accidental con sistemas transportadores tales como los empleados en las plantas de trituración y en la eliminación de tierras usadas. Los trabajadores también podrían verse expuestos al ruido provocado por los vehículos de transporte interno, sistemas transportadores, calderas, bombas, ventiladores, fugas varias de vapor de agua y aire, etc. Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** proporcionan orientaciones sobre las condiciones generales en el lugar de trabajo.

<sup>1</sup> Por ejemplo, el límite explosivo inferior para el hexano se sitúa en el 1,1 por ciento (volumen por volumen [v/v]) mientras que el límite superior es del 7,5 por ciento (v/v).

### 1.3 Higiene y seguridad en la comunidad

Los riesgos más significativos para la higiene y la salud de la comunidad en lo que atañe a las plantas de producción de oleoquímicos se producen durante la fase de funcionamiento e incluyen accidentes de gran magnitud ocasionados por incendios y explosiones o vertidos accidentales de materias primas o productos acabados durante su transporte desde la planta de procesamiento. A continuación se describen las orientaciones encaminadas al manejo de este tipo de incidentes, también presentes en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**: Seguridad del tráfico, Transporte de Sustancias Peligrosas, y Preparación y respuesta ante emergencias.

Las Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para el Transporte, los Ferrocarriles, Puertos y zonas Portuarias, y Terminales de Crudo y productos derivados del petróleo proporcionan orientaciones adicionales aplicables al transporte por mar y por tren e instalaciones costeras.

## 2.0 Seguimiento de los indicadores de desempeño

### 2.1 Medio Ambiente

#### Guías sobre emisiones y efluentes

En los Cuadros 1 y 2 se presentan las guías sobre emisiones y efluentes para este sector. Las cantidades correspondientes a las emisiones y efluentes de los procesos industriales en este sector son indicativas de las prácticas internacionales recomendadas para la industria, reflejadas en las normas correspondientes de los países que cuentan con marcos normativos reconocidos. Dichas cantidades pueden alcanzarse en condiciones normales de funcionamiento de instalaciones adecuadamente diseñadas y utilizadas mediante la aplicación de las técnicas de prevención y control de la contaminación que se han analizado en las secciones anteriores de este documento.

Las guías sobre emisiones son aplicables a las emisiones procedentes de la combustión. Las guías sobre emisiones procedentes de la combustión relacionadas con centrales de generación de vapor y energía a partir de fuentes con una capacidad igual o inferior a 50 MW térmicos se analizan en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**, y las guías sobre emisiones procedentes de centrales de mayor capacidad se analizan en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad para centrales térmicas**. En las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** se proporciona orientación sobre cuestiones ambientales teniendo en cuenta la carga total de emisiones.

Las guías sobre efluentes se aplican a los vertidos directos de efluentes tratados a aguas superficiales de uso general. Los niveles de vertido específicos del emplazamiento pueden establecerse basándose en la disponibilidad y condiciones de los sistemas de tratamiento y recogida de aguas de

alcantarillado público o, si se vierten directamente a las aguas superficiales, basándose en la clasificación del uso de las aguas receptoras que se describe en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**. Estos niveles se deben lograr, sin dilución, al menos el 95% del tiempo que opera la planta o unidad, calculado como proporción de las horas de operación anuales. El incumplimiento de estos niveles debido a las condiciones de determinados proyectos locales se debe justificar en la evaluación ambiental correspondiente.

**Cuadro 1. Niveles de emisiones al aire para las plantas de producción de oleoquímicos**

Contaminante	Unidades	Valor indicativo
COV	mg/Nm <sup>3</sup>	100a

a. A 273 K (0 °C) y 101,3 kPa (1 atmósfera).

**Cuadro 2. Niveles de efluentes para las plantas de producción de oleoquímicos**

Contaminante	Unidades	Valor indicativo
pH	S.U.	6-9
DBO <sub>5</sub>	mg/L	40
DQO	mg/L	150
Nitrógeno Total	mg/L	30
Total de fósforo	mg/L	5
Aceite y grasa	mg/L	10
Sólidos en suspensión totales	mg/L	50

#### Uso de recursos, consumo de energía, generación de emisiones y residuos

El Cuadro 3 muestra ejemplos de indicadores de consumo / generación de recursos para la energía en este sector, mientras que el Cuadro 4 contiene ejemplos de indicadores de generación de emisiones y residuos. Los valores de referencia de la industria se consignan únicamente con fines comparativos, y cada proyecto debería tener como objetivo lograr mejoras continuas en estas áreas.

**Cuadro 3. Consumo de recursos y energía**

Insumo por unidad de producto	Unidad	Valor de referencia de la industria
<b>Uso del agua</b>		
Producción de ácidos grasos / glicerina	m <sup>3</sup> /t de producto	0,6 – 0,8
Producción de biodiésel	m <sup>3</sup> /t de producto	1,6 – 2,0
<b>Energía</b>		
Producción de ácidos grasos / glicerina	Por tonelada de materia prima	550kg (vapor@30 bar) + 200kg (vapor @10 bar) + 45 kWh
Producción de biodiésel	Por tonelada de producto	600kg(vapor@ 5 bar) + 1.2*106 kJ + 40 kWh

**Cuadro 4. Generación de aguas residuales y residuos**

Insumo por unidad de producto	Unidad	Valor de referencia de la industria
<b>Aguas residuales de proceso<sup>(1)</sup></b>		
Producción de ácidos grasos / glicerina	m <sup>3</sup> /t de materia prima	<0.1 <sup>(2)</sup>
Producción de biodiésel	m <sup>3</sup> /t de producto	0,9 – 1,3
<b>Residuos sólidos</b>		
Producción de ácidos grasos / glicerina	m <sup>3</sup> /t de materia prima	5 (catalizadores usados) 10 (residuos de la destilación)
Producción de biodiésel	kg/t de producto	50 (fosfato de potasio)
<b>Notas:</b>		
1. Agua de refrigeración no incluida. El 90-95 por ciento del agua de refrigeración debería reciclarse.		
2. Basado en una tonelada de materia prima consistente en 900 kg de ácidos grasos y 100 kg de glicerina.		

## Seguimiento ambiental

Se llevarán a cabo programas de seguimiento ambiental para este sector en todas aquellas actividades identificadas por su potencial impacto significativo en el medio ambiente, durante las operaciones normales y en condiciones alteradas. Las actividades de seguimiento ambiental se basarán en indicadores directos e indirectos de emisiones, efluentes y uso de recursos aplicables al proyecto concreto.

La frecuencia del seguimiento debería permitir obtener datos representativos sobre los parámetros objeto del seguimiento. El seguimiento deberá recaer en individuos capacitados, quienes deberán aplicar los procedimientos de seguimiento y registro y utilizar un equipo adecuadamente calibrado y mantenido. Los datos de seguimiento se analizarán y revisarán con regularidad, y se compararán con las normas vigentes para así adoptar las medidas correctivas necesarias. Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** contienen orientaciones adicionales sobre los métodos de muestreo y análisis de emisiones y efluentes.

## 2.2 Higiene y seguridad ocupacional

### Guía sobre higiene y seguridad ocupacional

Para evaluar el desempeño en materia de higiene y seguridad en el trabajo deben utilizarse las guías sobre exposición que se publican en el ámbito internacional, entre ellas: guías sobre la concentración máxima admisible de exposición profesional (TLV®) y los índices biológicos de exposición (BEIs®) publicados por la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)<sup>2</sup>, la Guía de bolsillo sobre riesgos químicos publicada por el Instituto Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo de los Estados Unidos (NIOSH)<sup>3</sup>, los límites permisibles de exposición publicados por la Administración de Seguridad e Higiene en el Trabajo de los

<sup>2</sup> Disponible en: <http://www.acgih.org/TLV/> and <http://www.acgih.org/store/>

<sup>3</sup> Disponible en: <http://www.cdc.gov/niosh/npg/>

Estados Unidos (OSHA)<sup>4</sup>, los valores límite indicativos de exposición profesional publicados por los Estados miembros de la Unión Europea<sup>5</sup> u otras fuentes similares.

adicionales sobre los programas de seguimiento de la higiene y la seguridad en el trabajo.

## **Tasas de accidentes y letalidad**

Deben adoptarse medidas para reducir a cero el número de accidentes entre los trabajadores del proyecto (ya sean empleados directos o personal subcontratado), especialmente los accidentes que pueden causar la pérdida de horas de trabajo, diversos niveles de discapacidad e incluso la muerte. Como punto de referencia para evaluar las tasas del proyecto puede utilizarse el desempeño de instalaciones en este sector en países desarrollados, que se obtiene consultando las fuentes publicadas (por ejemplo, a través de la Oficina de Estadísticas Laborales de los Estados Unidos y el Comité Ejecutivo de Salud y Seguridad del Reino Unido)<sup>6</sup>.

## **Seguimiento de la higiene y la seguridad ocupacional**

Es preciso realizar un seguimiento de los riesgos que pueden correr los trabajadores en el entorno laboral del proyecto concreto. Las actividades de seguimiento deben ser diseñadas y realizadas por profesionales acreditados<sup>7</sup> como parte de un programa de seguimiento de la higiene y la seguridad en el trabajo. En las instalaciones, además, debe llevarse un registro de los accidentes y enfermedades laborales así como de los sucesos y accidentes peligrosos. Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** contienen orientaciones

<sup>4</sup> Disponible en:  
[http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show\\_document?p\\_table=STANDARDS&p\\_id=9992](http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9992)

<sup>5</sup> Disponible en: [http://europe.osha.eu.int/good\\_practice/risks/ds/oel/](http://europe.osha.eu.int/good_practice/risks/ds/oel/)

<sup>6</sup> Disponible en: <http://www.bls.gov/iif/> and  
<http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm>

<sup>7</sup> Los profesionales acreditados pueden incluir higienistas industriales certificados, higienistas ocupacionales diplomados o profesionales de la seguridad certificados o su equivalente.

### 3.0 Referencias y fuentes adicionales

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 40 CFR Part 417. Subpart B—Fatty Acid Manufacturing by Fat Splitting Subcategory. Washington, DC. Disponible en: <http://www.gpoaccess.gov/cfr/index.html>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 40 CFR Part 417. Subpart C—Soap Manufacturing by Fatty Acid Neutralization Subcategory. Washington, DC. Disponible en: <http://www.gpoaccess.gov/cfr/index.html>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 40 CFR Part 417. Subpart D—Glycerin Concentration Subcategory. Washington, DC. Disponible en: <http://www.gpoaccess.gov/cfr/index.html>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 40 CFR Part 417. Subpart E—Glycerin Distillation Subcategory. Washington, DC. Disponible en: <http://www.gpoaccess.gov/cfr/index.html>

American Oil Chemists' Society (AOCS). 2006. Inform. Abril de 2006. Volumen 17(4) pp. 216-217. Champaign, IL: American Oil Chemists' Society Press.

American Oil Chemists' Society (AOCS). 2006. Inform. Mayo de 2006. Volumen 17(5) pp. 324-326. Champaign, IL: American Oil Chemists' Society Press.

American Oil Chemists' Society (AOCS). 2006. Inform. Mayo 2006. Volumen 17(5) pg. 285. Champaign, IL: American Oil Chemists' Society Press.

American Oil Chemists' Society (AOCS). 2006. Biorenewable Sources. Agosto de 2006, Volumen 2. Champaign, IL: American Oil Chemists' Society Press.  
Dieckelmann, G. y H.J. Heinz. 1989. The Basics of Industrial Oleochemistry. Essen, Germany: Peter Pomp Publication GmbH.

Directiva del Consejo de la Unión Europea 1999/13/CE, de 11 de marzo de 1999, relativa a la limitación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles debidas al uso de disolventes orgánicos en determinadas actividades e instalaciones. Bruselas, Bélgica.

Comisión Europea. 2003. Agencia Europea para el Control Integrado de la Prevención y la Contaminación (EIPPCB). Documento de referencia sobre mejores técnicas disponibles (MTD) relativo a la industria de productos químicos orgánicos de gran volumen (LVOC). Sevilla: EIPPCB. Disponible en <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>

Ministerio Alemán de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear. 2004. Promulgation of the New Version of the Ordinance on Requirements for the Discharge of Waste Water into Waters (Waste Water Ordinance - AbwV) del 17 de junio de 2004. Berlín, Alemania.

Gunstone, F.D. y R.J. Hamilton (Ed.). 2001. Oleochemicals Manufacture and Applications. Sheffield, UK / Boca Raton, FL: Sheffield Academic Press / CRC Press.

Johnson, R.W. y E. Fritz. 1989. Fatty Acids in Industry: Processes, Properties, Derivatives, Applications. New York, NY: Marcel Dekker Inc.

National Renewable Energy Laboratory (NREL). Biodiesel Production Technology. Doc. No. NREL/SR-510-36244. Golden, Colorado, USA. Disponible en: [www.nrel.gov](http://www.nrel.gov)

República de Italia. 2006. Decreto Legislativo 3 de abril de 2006, n° 152. Norme in Materia Ambientale. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, n° 96/L. 14 de abril de 2006. Roma: República de Italia.

Swern D. 1985. Bailey's Industrial Oil and Fat Products. Vol. 2, cuarta ed. Nueva York, NY: John Wiley & Sons Inc.

## Anexo A: Descripción general de las actividades de la industria

El sector dedicado a la producción de oleoquímicos produce una gama de sustancias derivadas de la modificación física y química de aceites y grasas naturales, incluidos:

- Ácidos grasos obtenidos a partir de la descomposición (separación) de la molécula de triglicéridos en sus componentes (a saber, ácidos grasos y glicerina);
- Biodiésel, obtenido principalmente mediante la sustitución (transesterificación) de la glicerina con metanol en la molécula de triglicéridos; y
- Glicerina obtenida mediante el procesamiento de soluciones glicéricas de base acuosa principalmente derivadas de la transesterificación y separación.

### Producción de ácidos grasos

Los ácidos grasos, obtenidos a partir de la separación de aceites y grasas naturales, se purifican y modifican mediante la destilación, fraccionamiento e hidrogenación (Gráfico A.1). Los ácidos grasos pueden emplearse directamente en distintas aplicaciones industriales o constituir la base de una amplia gama de productos oleoquímicos, tales como ésteres, amidas y jabones metálicos.

### Materias primas

Las materias primas incluyen aceites vegetales (principalmente aceite de soja, aceite de palma, aceite de colza, aceite de girasol, aceite de algodón y aceite de oliva), que representan alrededor del 85 por ciento de la producción mundial de grasas, mientras que el restante 15 por ciento procede de grasas de origen animal, como por ejemplo sebo, manteca de cerdo, mantequilla, grasa de pollo y aceite de pescado<sup>8</sup>.

A pesar de que un creciente volumen de productos oleoquímicos se generan a partir de grasas de alta calidad, la

materia prima empleada en la industria oleoquímica incluye materiales de baja calidad, como aceites semirefinados o reciclados y residuos procedentes de la refinación de grasas.

### Operaciones de procesamiento

#### Tratamiento previo de grasas y aceites

Es fundamental eliminar las impurezas presentes en la materia prima, tales como los productos de degradación de proteínas, cenizas, jabones, sustancias mucilaginosas y pigmentos colorantes. Durante la producción de oleoquímicos de alta calidad, el tratamiento previo se realiza normalmente mediante el filtrado de las materias primas con una cantidad variable (0,1-2,0%) de tierras decolorantes activas (tierra de diatomeas). Las arcillas presentes en los filtros usados, que contienen hasta un 40% de materias grasas, constituyen el principal residuo sólido derivado de la producción de ácidos grasos.

#### Fraccionamiento de grasas y aceites

El proceso de fraccionamiento puede aplicarse a aceites y grasas (principalmente utilizados para fabricar aceite de palma), aunque también se aplica a los ácidos grasos después de su separación (ver más adelante). El fraccionamiento permite separar la materia prima en dos fracciones: una fracción más líquida (con un contenido superior en grasas no saturadas o ácidos grasos y de mayor valor comercial) y una fracción más sólida (con un contenido en grasas o ácidos grasos saturados mayor que la materia prima).

El fraccionamiento se basa en la cristalización parcial de la grasa obtenida mediante refrigeración controlada. Las tres técnicas de fraccionamiento más utilizadas son el fraccionamiento en seco o hibernación, fraccionamiento húmedo y fraccionamiento con disolventes.

<sup>8</sup> Inform, abril de 2006, Volumen 17(4)

Durante el fraccionamiento en seco, los cristales se separan de la fase líquida mediante filtración, mientras que en el fraccionamiento húmedo se emplea una solución sulfatante como agente humidificador para los cristales separados mediante centrifugado. Los disolventes (principalmente el hexano y la acetona) se utilizan durante el fraccionamiento con disolventes para cristalizar y separar la fracción sólida. En el proceso se recuperan y reutilizan tanto los humectantes como los disolventes. La pureza de las fracciones resultantes, así como los costos de capital y producción, son mayores en el fraccionamiento con disolventes que en el fraccionamiento húmedo, y mayores también en éste que en el fraccionamiento húmedo<sup>9</sup>.

### Separación

Durante el proceso de separación, las grasas y aceites se hidrolizan para obtener ácidos grasos y glicerina libres. Normalmente, las plantas de separación pueden llevar a cabo procesos de forma continua o por lotes a temperaturas de 210-250 °C y con presiones de vapor que oscilan entre los 20-40 bar sin catalizadores<sup>10</sup>. Para alcanzar un mayor rendimiento en la separación (superior al 97 por ciento), el agua glicérica (agua dulce) se separa continuamente de la fase grasa. Los ácidos grasos crudos se liberan a la presión atmosférica y los vapores producidos se condensan por medio de pulverizadores de agua. El agua resultante se vierte después de separar la grasa flotante. A continuación, los ácidos grasos crudos se deshidratan y envían a la planta de destilación. Las aguas dulces, que contienen hasta un 20% de glicerina, se separan de las grasas restantes y pueden purificarse mediante tratamientos con cal y filtración antes de continuar su procesamiento para la producción de glicerina.

<sup>9</sup> G. Dieckelmann y H.J. Heinz, 1989. AOCs. Inform, abril de 2006, Volumen 17(5)  
<sup>10</sup> G. Dieckelmann y H.J. Heinz, 1989. AOCs.

### Hidrogenación

El proceso de hidrogenación puede realizarse antes o después de la separación. La hidrogenación es la reacción entre el hidrógeno y el doble enlace etilénico de una grasa no saturada, con la presencia de un catalizador. La grasa saturada (hidrogenada) resultante se caracteriza por una mayor estabilidad y un punto de fusión más elevado. Por lo general, los procesos de hidrogenación se realizan a temperaturas que oscilan entre los 180 – 250°C, y la presión del hidrógeno es de 10 – 25 bar. Se utiliza un catalizador de níquel finamente dividido, dotado de gel de sílice o de tierra de diatomeas<sup>11</sup>.

La reacción es exotérmica y el calor se recupera para precalentar la grasa. La grasa hidrogenada resultante se filtra, y las tortas de filtración de los catalizadores usados (secados con nitrógeno debido a sus propiedades pirofóricas) se recogen y envían a la industria de catalizadores para su reactivación. Es posible que para eliminar los restos de níquel (jabones de níquel) sea necesario llevar a cabo una posterior purificación (posrefinado) mediante filtrado.

### Destilación de ácidos grasos y destilación fraccionada

Los ácidos grasos crudos procedentes de las unidades de separación contienen entre un 2-5 por ciento de glicéridos parciales, oligómeros, materia insaponificable y productos de la oxidación. Las plantas de destilación, que funcionan generalmente a 160 – 250°C y 2 – 20 mbar, producen ácidos grasos de baja coloración, fracciones ligeras y residuos. Las fracciones ligeras se condensan y recogen para su posterior tratamiento y eliminación. Los residuos generados por los procesos continuos pueden contener todavía un porcentaje de ácidos grasos y utilizarse para las producciones de baja calidad o bien rehidrolizarse y volverse a destilar por lotes. Las breas generadas se recogen para su reciclado y/o eliminación. Las torres de destilación de ácidos grasos producen distintas

<sup>11</sup> Bailey's Industrial Oil and Fat Production. 1985

fracciones de ácidos grasos dependiendo de las presiones de vapor empleadas. Los ácidos grasos también pueden fraccionarse mediante la cristalización parcial a bajas temperaturas.

### **Producción de glicerina**

La glicerina de origen animal o vegetal se produce mediante la descomposición de los triglicéridos presentes en las grasas animales y vegetales mediante la separación, transesterificación o saponificación. Las soluciones glicéricas de base acuosa se purifican, concentran y destilan (Gráfico A.2) para cumplir con las distintas especificaciones de mercado y pueden emplearse para producir otros productos oleoquímicos, como monoglicéridos y diglicéridos.

#### *Materias primas*

En la actualidad, las plantas de separación producen soluciones glicéricas que contienen hasta un 20 por ciento de glicerina en agua ("aguas dulces"). Las concentraciones de glicerina de hasta el 85 – 90 por ciento y las sales (hasta un 5 por ciento) se obtienen gracias al proceso de transesterificación; la recuperación del exceso de metanol presente en la solución glicérica y su reciclado en el proceso son operaciones comunes en la industria del biodiésel. La lejía gliferosa usada, obtenida a partir del proceso de saponificación, presenta un menor contenido en glicerina (5–8 por ciento) y una mayor concentración de sales (10–15 por ciento) e impurezas.

#### *Operaciones de procesamiento*

##### **Pretratamiento de las soluciones glicéricas**

Las lejías jabonosas usadas y las soluciones glicéricas derivadas de la separación o transesterificación de grasas de baja calidad o recicladas se tratan con sales coagulantes como el sulfato de aluminio o el cloruro férrico, ácidos y cal para eliminar las impurezas (por ejemplo, jabones, productos de degradación de proteínas, ácidos grasos o ésteres, cenizas y

fibras). A continuación, se filtran mediante arcilla o carbón activado. Normalmente, las aguas dulces y las soluciones de transesterificación presentan una menor concentración de impurezas y sólo requieren un tratamiento con cal seguido del ajuste del pH y filtración.

Las soluciones glicéricas también pueden purificarse mediante un proceso de intercambio iónico. Este proceso se emplea principalmente para aquellas soluciones con un bajo contenido en sales y jabones, que después de purificadas pueden alcanzar concentraciones superiores al 99,5 por ciento por medio de la evaporación, evitando así la fase de la destilación. Las resinas se reactivan utilizando ácidos y soluciones cáusticas que deben neutralizarse antes de ser eliminadas.

##### **Evaporación**

Las lejías jabonosas usadas y las aguas dulces se procesan a presiones inferiores y temperaturas superiores en evaporadores multietapas en los que la glicerina alcanza concentraciones de hasta el 90 por ciento. El agua destilada se condensa y elimina. Después de su decoloración con carbón activado, la glicerina al 90 por ciento puede venderse como glicerina grado técnico o proceder a su destilación posterior.

##### **Destilación**

Las soluciones glicéricas obtenidas a partir de la transesterificación y la evaporación y con un contenido en glicerol de hasta el 90 por ciento de glicerol se destilan en columnas de relleno donde las impurezas de ebullición pesadas y ligeras se separan para obtener glicerina pura (más del 99,5 por ciento). En el caso de la glicerina con un elevado contenido en sales (como sucede con las lejías usadas o el biodiésel de glicerina), un exprimidor de sal permite la reducción de las fracciones pesadas que, dependiendo de su contenido en glicerol, podrán purificarse posteriormente y destinarse a otros fines (por ejemplo, fertilizantes) o eliminarse. Las fracciones ligeras, soluciones acuosas que contienen glicerina (10 – 30 por

ciento) y restos de ácidos grasos y ésteres, pueden reciclarse para el proceso de producción mediante el tratamiento con cal y ácido, filtración y evaporación. Normalmente, la glicerina amarillenta destilada se blanquea utilizando carbón activado para cumplir con los requisitos farmacéuticos vigentes.

## Producción de biodiésel

El biodiésel son monoalquil ésteres de ácidos grasos de cadena larga<sup>12</sup>. El biodiésel se obtiene principalmente a partir de la reacción directa (transesterificación) de aceites y grasas de origen vegetal y animal con metanol de origen fósil (Gráfico A.3), aunque también pueden emplearse otros alcoholes (como etanol o isopropanol). Los productos resultantes son ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME) y glicerina. Los FAME también constituyen la base de otros productos oleoquímicos importantes, incluidos los alcoholes grasos (industria de surfactantes).

### *Materias primas*

Los aceites naturales y grasas de origen vegetal se utilizan a menudo como materias primas. Las más utilizadas son el aceite de colza, el aceite de soja, el aceite de palma, el aceite de girasol y el aceite de algodón. También pueden utilizarse grasas de origen animal, como sebo y manteca de cerdo. La mayor parte de las plantas productoras utilizan distintas materias primas y también aceptan aceites de baja calidad, como los aceites usados para freír o los aceites crudos. Los ácidos grasos de origen animal o vegetal se emplean durante el proceso de esterificación.

El principal requisito para el metanol es la ausencia de agua que pueda interferir en la reacción de transesterificación. El etanol, que puede emplearse en lugar del metanol durante el proceso de transesterificación, forma una mezcla azeotrópica

con el agua que puede complicar su recuperación y reciclado durante el proceso.

### *Operaciones de procesamiento*

#### **Tratamiento previo**

Los procesos de transesterificación requieren normalmente materias primas con un contenido mínimo de ácidos grasos libres. Las grasas y aceites se neutralizan mediante el refinado químico o físico o la esterificación. Los aceites usados para freír, las grasas animales y los aceites muy ácidos suelen esterificarse con catalizadores de metanol y ácido; el agua de reacción se elimina y el catalizador ácido se neutraliza con sodio o con hidróxido potásico antes de proceder a la transesterificación. Las corrientes de ácidos grasos derivadas del refinado físico también pueden esterificarse<sup>13</sup>.

#### **Síntesis de ésteres metílicos mediante transesterificación**

Para la transesterificación de grasas y aceites con metanol suelen emplearse catalizadores básicos (como por ejemplo, hidróxido sódico, hidróxido potásico y metilato de sodio) a 60–70°C y presión normal, aunque también pueden emplearse temperaturas y presiones superiores. El equilibrio de la reacción en la producción de ésteres se obtiene gracias al exceso de metanol y a la sedimentación de la fase glicérica en el fondo del reactor. Una vez finalizada la reacción, la mezcla se deja sedimentar o se separa mediante centrifugado.

#### **Purificación de ésteres metílicos y glicerol**

El excedente de alcohol se elimina en ambas fases mediante la evaporación, para luego condensarse y reciclarse. Antes de proceder al secado, el éster se lava con agua ácida para eliminar los restos de catalizadores, jabones, y metanol y glicerina residuales. El agua de lavado puede recogerse en la corriente glicérica. La fase glicérica se neutraliza posteriormente con ácidos minerales, normalmente ácido clorhídrico; cuando se

<sup>12</sup> Ver, por ejemplo, UE EN 14214, EN 14213 y ASTM 6751-06.

<sup>13</sup> Biorenewable Sources, agosto de 2006, Volumen 2.

emplean hidróxido potásico y ácido fosfórico, las sales resultantes pueden reutilizarse como fertilizante. Los ácidos grasos obtenidos a partir de la neutralización de jabones pueden recuperarse y volverse a esterificar; la glicerina cruda se envía luego a las unidades de refinado de glicerina.

#### **Síntesis de ésteres metílicos por esterificación**

Los ácidos grasos se pueden convertir en FAME mediante la esterificación con metanol y la ayuda de un catalizador ácido. Antes de su eliminación, el agua del proceso se purifica para eliminar el exceso de metanol empleado durante la reacción. Las plantas continuas con lavado contracorriente producen flujos de ésteres metílicos con un rendimiento del 99 por ciento o más.

#### **Destilación**

Los ésteres metílicos crudos, especialmente los procedentes de materias primas altamente degradadas, pueden destilarse para eliminar impurezas de ebullición pesadas y ligeras y así cumplir la normativa correspondiente.

Gráfico A.1: Producción de ácidos grasos

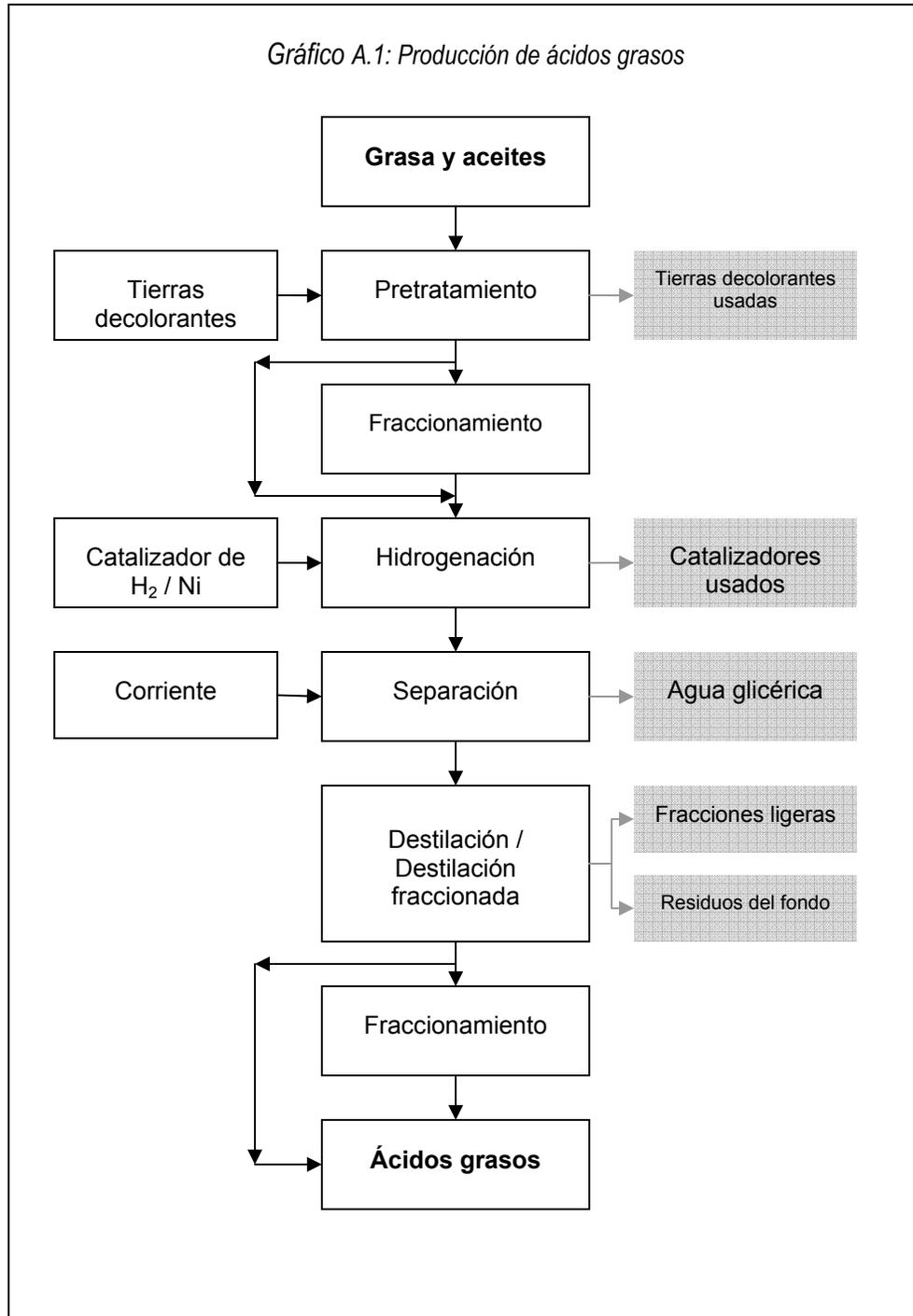


Gráfico A.2: Producción de glicerina

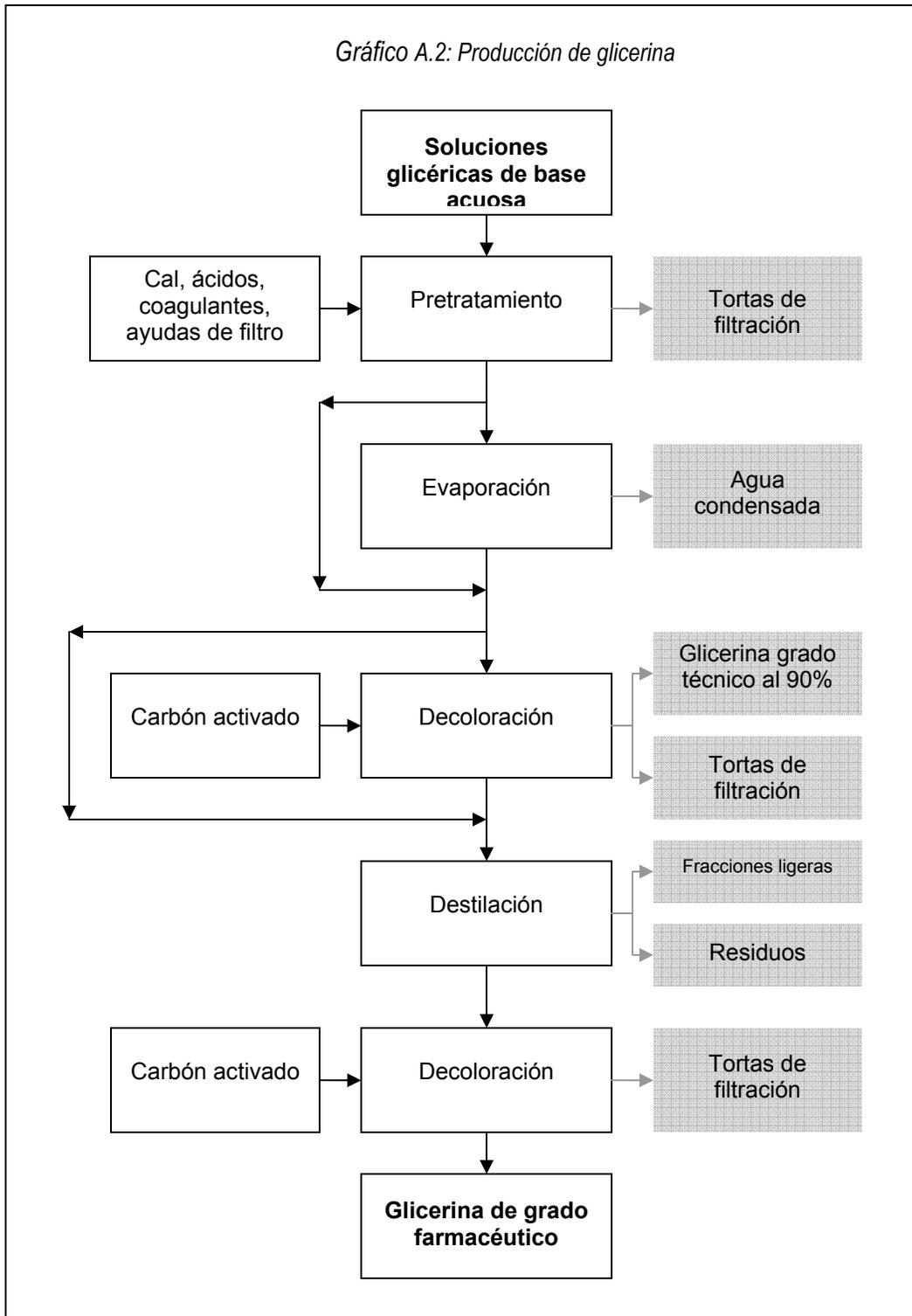


Gráfico A.3: Producción de biodiésel

