



FORMIQ

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FORMALDEHÍDO

**Trabajo de fin de grado.
Ingeniería química**

Jonathan Baudillo Sequeiros Vilanueva

Sergio Fernández Blanco

Júlia Guardia de la Rubia

Deyaneira Hidalgo Narvaez

Lluc Maymó Ballester

Mireia Tellez Alcover

UAB Universitat Autònoma
de Barcelona

Escola
d'Enginyeria





FORMIQ

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FORMALDEHÍDO

CAPÍTULO 6. MEDIO AMBIENTE

ÍNDICE:

6.1. Introducción	3
6.2 Gestión Ambiental	4
6.2.1. Normativas medioambientales	4
6.2.1.1. Normativa Europea	4
6.2.1.2. Normativa Española	4
6.2.1.3. Normativa Catalana	5
6.2.2. Normativa ISO-14001	5
6.2.3. EMAS	7
6.2.4. Comparativa ISO-14001 y EMAS	7
6.3 Gestión de residuos	8
6.3.1. Marco Legal y Definiciones	8
6.3.2. Jerarquía de Gestión de Residuos	9
6.3.3. Residuos Sólidos	10
6.3.1.1. Clasificación de residuos sólidos	11
6.3.1.2. Tratamiento de los residuos sólidos	11
6.3.4. Residuos Líquidos	16
6.3.5. Residuos Gaseosos	17
6.4 Contaminación acústica	18
6.4.1. Normativa	18
6.4.2. Valores límite de emisión acústica	19
6.4.3. Tratamiento de la contaminación acústica	19
6.5 Contaminación lumínica	19
6.5.1. Normativa	20
6.5.2. Valores límite de emisiones luminosas	20
6.5.3. Tratamiento de la contaminación lumínica	22
6.6 Evaluación del impacto medioambiental	23
6.6.1. Matriz de Leopold	23
6.6.2. Procedimiento de la Matriz de Leopold	23
6.6.3. Matriz de Leopold del proyecto de FORMIQ	26
6.7 Bibliografía	28

6.1. Introducción

La producción de formaldehído a partir de metanol es un proceso ampliamente utilizado en la industria química debido a la gran demanda de este compuesto como materia prima en la fabricación de resinas, plásticos, adhesivos y numerosos productos industriales. Sin embargo, como ocurre con la mayoría de los procesos químicos a escala industrial, su operación puede generar diversos impactos sobre el medio ambiente si no se gestionan adecuadamente las emisiones, residuos y consumos de recursos asociados al proceso.

En este contexto, el análisis del aspecto medioambiental de una planta de producción de formaldehído resulta fundamental para identificar, evaluar y controlar los posibles efectos derivados de su funcionamiento. Dicho análisis permite no solo cumplir con la legislación ambiental vigente, sino también promover una gestión responsable de los recursos, minimizar la generación de contaminantes y garantizar la sostenibilidad de la actividad industrial.

El presente apartado tiene como objetivo estudiar los principales aspectos ambientales relacionados con la operación de una planta química de producción de formaldehído a partir de metanol. Para ello, se abordará en primer lugar el marco legislativo y la normativa ambiental aplicable, así como los sistemas de gestión ambiental utilizados en la industria química. Posteriormente, se analizarán aspectos específicos como la gestión y tratamiento de residuos, la contaminación acústica y lumínica, y finalmente se evaluará el impacto medioambiental global asociado al proceso productivo.

De este modo, se pretende ofrecer una visión estructurada de los factores ambientales que deben considerarse en el diseño y operación de este tipo de instalaciones, destacando la importancia de aplicar medidas de prevención, control y mejora continua para reducir su impacto sobre el entorno.

6.2 Gestión Ambiental

La actividad de FORMIQ se rige por un marco jurídico multinivel que busca prevenir la contaminación de forma integrada. El cumplimiento de estas normas es esencial para la obtención de la Autorización Ambiental Integrada (AAI), necesaria para actividades de la industria química orgánica.

La actividad de FORMIQ está sujeta a un régimen de intervención administrativa ambiental debido a su potencial impacto.

6.2.1. Normativas medioambientales

6.2.1.1. Normativa Europea

- **Directiva 2010/75/UE (Emisiones Industriales):** Obliga a la planta a operar bajo las **MTD (Mejores Técnicas Disponibles)**. Para el formaldehído, esto implica el uso de sistemas de monitorización continua de emisiones en chimenea [1].
- **Reglamento (CE) 1907/2006 (REACH):** regula la fabricación, uso y comercialización de sustancias químicas. Establece que las empresas deben registrar y demostrar que las sustancias que producen o importan son seguras. Su aplicación se gestiona principalmente a través de la Agencia Europea de Sustancias y Mezclas Químicas, que evalúa los riesgos y controla las autorizaciones y restricciones. El reglamento busca proteger la salud humana y el medio ambiente frente a los riesgos derivados de los productos químicos. Su importancia radica en que mejora la seguridad química, aumenta la transparencia sobre las sustancias utilizadas y promueve el uso de alternativas más seguras en la industria. El formaldehído está sujeto a restricciones estrictas por su clasificación como carcinógeno 1B [2].
- **Directiva Seveso III (2012/18/UE):** destinada a prevenir accidentes graves en instalaciones industriales donde se manejan sustancias peligrosas. Obliga a las empresas a identificar los riesgos, aplicar medidas de seguridad y elaborar planes de emergencia para proteger a los trabajadores, la población y el medio ambiente. También exige informar a las autoridades y a la ciudadanía sobre los posibles riesgos. Su importancia radica en reducir la probabilidad y las consecuencias de accidentes industriales graves. Dado que el metanol tiene un punto de inflamación bajo y el formaldehído es tóxico, la planta debe elaborar un Informe de Seguridad y un Plan de Emergencia Interior [3].

6.2.1.2. Normativa Española

- **Ley 21/2013 de Evaluación Ambiental:** regula el proceso para evaluar los efectos que pueden tener determinados planes, programas y proyectos sobre el medio ambiente antes de que se lleven a cabo. Su objetivo es integrar la protección ambiental en la toma de decisiones públicas y privadas, analizando los posibles impactos y proponiendo medidas para prevenirlos o reducirlos. La ley establece dos procedimientos principales: evaluación ambiental estratégica (para planes y programas) y evaluación de impacto ambiental (para proyectos) [4].

Su importancia radica en que ayuda a evitar daños al entorno, fomenta un desarrollo más sostenible y garantiza que las decisiones se tomen considerando sus consecuencias ambientales.

- **Real Decreto 815/2013:** Regula las emisiones industriales y establece las condiciones para prevenir y reducir la contaminación procedente de determinadas actividades industriales en España. Desarrolla la normativa sobre prevención y control integrados de la contaminación (IPPC). Obliga a las instalaciones a obtener una autorización ambiental integrada y a aplicar las mejores técnicas disponibles. Su importancia radica en reducir las emisiones contaminantes al aire, agua y suelo [5].
- **Ley 7/2022 de Residuos y Suelos Contaminados:** Establece el marco legal para la gestión de residuos y la protección de los suelos contaminados en España. Promueve la economía circular, fomentando la reducción, reutilización y reciclaje de residuos. También introduce medidas para disminuir plásticos y mejorar la responsabilidad de productores. Por lo tanto, obliga a FORMIQ a llevar un archivo cronológico de residuos y presentar una memoria anual [6].

6.2.1.3. Normativa Catalana

- **Ley 20/2009 (Prevención y Control Ambiental):** Regula en Cataluña el control ambiental de actividades que pueden generar impactos significativos. El anexo I incluye actividades con mayor potencial contaminante que requieren autorización ambiental. El epígrafe 5.1 se refiere a determinadas instalaciones industriales con posible impacto ambiental relevante. Su objetivo es prevenir y minimizar la contaminación antes de que se produzca. Por tanto, Clasifica a FORMIQ en el Anexo I, Epígrafe 5.1. Esto obliga a obtener la Autorización Ambiental Integrada (AAI) antes del inicio de la actividad [7].
- **Decreto 130/2003:** Establece la normativa para la gestión de residuos sanitarios en Cataluña. Clasifica los residuos generados en centros sanitarios y define cómo deben recogerse, almacenarse, transportarse y tratarse. Busca garantizar la seguridad sanitaria y ambiental en el manejo de estos residuos. Su importancia radica en prevenir riesgos para la salud pública y el medio ambiente [8].

6.2.2. Normativa ISO-14001

La norma ISO 14001 es el estándar internacional más reconocido para la gestión ambiental. A diferencia del Reglamento EMAS (que es una normativa legal europea), la ISO 14001 es un marco de gestión privado, desarrollado por la Organización Internacional de Normalización (ISO), que puede ser aplicado por cualquier organización en el mundo, independientemente de su sector [9][10].

La norma se basa en la metodología de mejora continua PDCA (*Plan-Do-Check-Act*), que permite a FORMIQ una gestión dinámica:

- **Planificar (Plan):** Identificar los aspectos ambientales (emisiones de metanol, consumo de agua, ruido de compresores) y establecer objetivos para reducirlos.
- **Hacer (Do):** Implementar los procesos y controles necesarios. Por ejemplo, instalar sensores de detección de fugas en las bridas de los reactores.

- **Verificar (Check):** Realizar el seguimiento y la medición de los procesos respecto a la política ambiental y los objetivos.
- **Actuar (Act):** Tomar acciones para mejorar continuamente el desempeño del sistema.

Para visualizar la integración de los requisitos de la norma ISO 14001 con la metodología del ciclo de mejora continua, se ha desarrollado un esquema detallado de las operaciones en FORMIQ, el cual se presenta a continuación (ver figura 6.1)¹:



Figura 6.1. Ciclo de PDCA

Su enfoque en el ciclo PDCA permite identificar los aspectos ambientales más críticos, como las fugas de metanol en bridas y válvulas, para actuar preventivamente. Por lo tanto, la implementación en la planta de formaldehído requerirá necesariamente de:

1. **Evaluación Ambiental Inicial:** Identificación de flujos de residuos y puntos de emisión.
2. **Control Operacional:** Procedimientos para el llenado de tanques de metanol y carga de producto al 37%.
3. **Preparación y Respuesta ante Emergencias:** Protocolos específicos para derrames de formalina.

La ISO 14001 - 2026, publicada oficialmente en este primer cuatrimestre del año, representa la actualización más profunda del estándar en la última década. Su núcleo se ha rediseñado para integrar de forma obligatoria la acción climática y la resiliencia operativa, exigiendo a las empresas no solo mitigar su impacto, sino evaluar cómo el cambio climático afecta a su propio modelo de negocio.

¹ Nota. Diagrama que ilustra la integración de las cláusulas de la norma ISO 14001 dentro del ciclo de mejora continua (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar) para la empresa FORMIQ. La imagen fue generada mediante el modelo de inteligencia artificial de Google (2026), utilizando el siguiente prompt: "Infografía técnica detallada del ciclo PDCA aplicada a un marco de gestión ambiental ISO 14001 para una empresa química llamada FORMIQ, mostrando las cuatro etapas, procesos industriales, monitoreo, sensores y mejora continua, estilo profesional y educativo".

Esta versión adopta la nueva Estructura Armonizada (HS) para facilitar la integración con otras normas y pone un énfasis sin precedentes en la digitalización (uso de datos en tiempo real e IA para el monitoreo ambiental), la protección de la biodiversidad y la transición hacia una economía circular. Además, refuerza la responsabilidad de la alta dirección, que ahora debe demostrar un liderazgo estratégico vinculado directamente a los criterios ESG (*Environmental, Social, and Governance*) y a resultados ambientales verificables.

6.2.3. EMAS

El Reglamento **EMAS** (*Eco-Management and Audit Scheme*), regulado por el Reglamento (CE) nº 1221/2009 (EMAS III) y sus actualizaciones posteriores, representa el estándar de excelencia más elevado en la Unión Europea para la gestión ambiental. A diferencia de otros sistemas, el EMAS no es solo una norma de gestión, sino un esquema de auditoría pública que exige a FORMIQ una transparencia total y un desempeño ambiental superior al mínimo legal [13][11].

La adhesión de una planta de producción de formaldehído a este sistema voluntario se fundamenta en tres pilares que garantizan la sostenibilidad del proceso de transformación del metanol:

- **Desempeño Ambiental:** FORMIQ no solo debe gestionar sus impactos, sino demostrar una mejora real y anual en sus indicadores (ej. reducción de emisiones fugitivas de metanol o mayor eficiencia térmica en la oxidación).
- **Cumplimiento Legal Estricto:** Mientras que otros sistemas son más flexibles, el EMAS exige una verificación externa de que la planta cumple con toda la normativa vigente, nombrada anteriormente (Seveso III, Ley de Residuos, Autorización Ambiental Integrada).
- **Transparencia Informativa:** La obligatoriedad de publicar una Declaración Ambiental anual permite que cualquier parte interesada acceda a los datos reales de impacto de la planta.

6.2.4. Comparativa ISO-14001 y EMAS

A continuación, en la tabla 6.1 se muestra una comparación entre el EMAS y el ISO14001 con el fin de poder esclarecer con mayor facilidad las diferencias.

Tabla 6.1. Comparativa entre la ISO 14001 y el reglamento EMAS

Punto de Comparación	ISO 14001 (Versión 2026)	Reglamento EMAS (UE)
Campo de Aplicación	Global y flexible (cualquier organización)	Principalmente UE (Sitios específicos)
Revisión Ambiental Previa	Recomendada/Implícita en el contexto	Obligatoria y formal
Declaración Ambiental	No obligatoria (comunicación voluntaria)	Obligatoria, pública y validada
Aplicabilidad Sectorial	Genérica (un solo estándar para todos)	Usa Guías de Referencia Sectorial específicas

Cumplimiento Legal	Compromiso de mejora y evaluación	Requisito previo verificado por el Estado
Auditorías	Foco en el Sistema de Gestión (SGA)	Foco en el Desempeño y los datos públicos
Política Ambiental	Compromiso de protección y mejora SGA	Compromiso explícito de mejora del desempeño

6.3 Gestión de residuos

La gestión de residuos en una instalación de síntesis química, como la planta de producción de formaldehído al 37% de FORMIQ, constituye un eje crítico tanto para la operatividad técnica como para el cumplimiento de la responsabilidad ambiental corporativa. El proceso de transformación del metanol genera diversos flujos de salida que, de no ser gestionados bajo criterios de eficiencia y seguridad, podrían representar un riesgo para los ecosistemas y la salud pública.

Por ello, este apartado tiene como objetivo principal definir y estructurar los procedimientos de identificación, clasificación, almacenamiento y tratamiento de los residuos generados en la planta. Se busca no solo garantizar el estricto cumplimiento de la normativa vigente, sino también optimizar el uso de los recursos mediante la aplicación de tecnologías que permitan la recuperación de subproductos y la minimización de la carga contaminante enviada a eliminación final.

6.3.1. Marco Legal y Definiciones

Para una correcta gestión en FORMIQ, es imperativo partir de las definiciones legales que rigen el territorio nacional y autonómico:

- **Definición de Residuo (Ley 7/2022):** De acuerdo con la Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular, se define como residuo *"cualquier sustancia u objeto que su poseedor deseche o tenga la intención o la obligación de desechar"*. Esta ley establece el marco para una transición hacia la economía circular, priorizando que los materiales se mantengan en el ciclo productivo el mayor tiempo posible [6].
- **Residuos Industriales (Decreto 152/2017):** Dado que la planta de FORMIQ se ubica en territorio catalán, se aplica el Decreto 152/2017, de 10 de octubre, sobre la clasificación de los residuos y la gestión de los residuos industriales. Según esta normativa, los residuos industriales son una subcategoría específica que comprende los residuos resultantes de los procesos de fabricación, de transformación, de utilización, de consumo, de limpieza o de mantenimiento generados por la actividad industrial. En nuestro contexto, esto incluye desde los catalizadores agotados hasta las aguas de purga del proceso de absorción.

6.3.2. Jerarquía de Gestión de Residuos

En cumplimiento con el artículo 8 de la Ley 7/2022, FORMIQ aplica el principio de jerarquía de residuos como orden de prioridad en la legislación y la política de prevención y gestión. Este orden, visualizado de mayor a menor preferencia, se detalla a continuación:

1. **Prevención:** Es la prioridad máxima. Consiste en reducir la cantidad y peligrosidad de los residuos en origen. En la síntesis de formaldehído, esto se logra optimizando la selectividad del catalizador para reducir subproductos no deseados.
2. **Preparación para la reutilización:** Operaciones de control, limpieza o reparación mediante las cuales productos que se hayan convertido en residuos se preparan para que puedan reutilizarse sin ninguna otra transformación previa.
3. **Reciclado:** Transformación de los residuos en nuevos productos o materiales. Por ejemplo, el envío de catalizadores de plata o metales preciosos a procesos de recuperación metalúrgica.
4. **Otro tipo de valorización (energética):** Si el residuo no puede reciclarse, se busca aprovechar su potencial energético (especialmente relevante en el tratamiento de gases de cola con carga de COVs).
5. **Eliminación:** Es la última opción, reservada para aquellos residuos que no pueden ser tratados mediante los procesos anteriores (como ciertos lodos químicos), los cuales se envían a vertederos autorizados o incineración sin recuperación de energía bajo estrictas condiciones de seguridad.

Para avanzar hacia un modelo de economía circular y minimizar la huella ambiental, es necesario aplicar la jerarquía de residuos establecida en la normativa vigente. La estructura de este modelo, que guía nuestras operaciones, se presenta a continuación (véase Figura 6.2²):



Figura 6.2. Esquema de la jerarquía de residuos.

² Nota. Esquema visual de la jerarquía de residuos que prioriza la prevención y reutilización sobre la valorización y la eliminación final. Imagen generada por inteligencia artificial mediante el modelo de Google (2026), a partir del *prompt*: "Infografía de estilo embudo o pirámide invertida que represente la jerarquía de gestión de residuos, mostrando los niveles de prevención, reutilización, reciclaje, valorización y eliminación en la base, diseño limpio y profesional".

6.3.3. Residuos Sólidos

En la planta, la generación de residuos sólidos responde a una naturaleza dual. Por un lado, se encuentran los residuos vinculados directamente a la síntesis química y al mantenimiento de equipos (residuos industriales) y, por otro, los residuos generados en las zonas de oficinas, laboratorio y servicios (residuos asimilables a urbanos). Esta distinción es fundamental para cumplir con el Decreto 152/2017 de la Generalitat de Catalunya y asegurar una trazabilidad correcta mediante la Lista Europea de Residuos (LER).

Residuos de Origen Industrial

Son aquellos generados directamente por la actividad productiva de transformación de metanol en formaldehído.

A) Residuos Industriales Peligrosos (RIP):

- **Catalizador de Hierro-Molibdeno agotado (LER 07 01 08*)**: Es el residuo sólido más relevante del proceso. En FORMIQ, el reactor de lecho fijo utiliza anillos o pellets compuestos por óxidos de hierro y molibdeno.

Tras un periodo de operación (generalmente de 1 a 2 años), el catalizador pierde selectividad y actividad. Debido a su contenido en metales pesados y sustancias químicas de proceso, se clasifica como residuo peligroso. Su gestión prioriza el reciclado para la recuperación de los metales, enviándose a plantas especializadas en metalurgia.

- **Envases metálicos y plásticos contaminados (LER 15 01 10*)**: Bidones o IBCs que han contenido metanol o aditivos estabilizantes para la formalina al 37%.
- **Materiales de filtración y absorbentes contaminados (LER 15 02 02*)**: Trapos, sepiolita utilizada en posibles derrames de metanol y equipos de protección individual (EPIs) desechables tras operaciones de mantenimiento en el reactor o en las líneas de carga.

B) Residuos Industriales No Peligrosos (RINP):

- **Chatarra férrea y aleaciones (LER 17 04 05)**: Restos de tuberías de acero inoxidable o componentes mecánicos sustituidos durante las paradas de mantenimiento.
- **Palés de madera limpios (LER 15 01 03)**: Utilizados para el suministro de materias auxiliares que no entran en contacto con sustancias químicas.

Residuos Urbanos o Municipales

Son los residuos generados en las zonas de administración, laboratorio y servicios de FORMIQ, cuya naturaleza es similar a los domésticos. Su gestión se rige por la Ley 7/2022.

- **Papel y Cartón (LER 20 01 01)**: Proveniente de las áreas de oficinas y logística.
- **Envases ligeros (LER 20 01 39)**: Plásticos y latas generados en las zonas de descanso y comedor.

- **Fracción Orgánica y Resto (LER 20 01 08 / 20 03 01):** Residuos de la limpieza general de las instalaciones y restos de comida.
- **Residuos Electrónicos (RAEEs) (LER 20 01 36):** Equipos informáticos obsoletos o componentes de instrumentación electrónica fuera de uso.

6.3.1.1. Clasificación de residuos sólidos

En la tabla 6.2 se muestran los residuos sólidos que se producen en FORMIQ, acompañados de su código según la lista europea de residuos.

Tabla 6.2. Clasificación de los residuos sólidos de la planta.

Residuo industrial	Localización	Clasificación	Código LER
Catalizador de Hierro-Molibdeno agotado	Reactores de síntesis química	Peligroso (*)	07 01 08* (catalizadores que contienen sustancias peligrosas)
Restos de disolventes y aguas de lavado químicas	Área de reacción / Columnas de absorción	Peligroso (*)	07 01 04* (otros disolventes orgánicos, líquidos de lavado)
Absorbentes, trapos de limpieza y EPIs contaminados	Toda la planta (mantenimiento y limpieza de derrames)	Peligroso (*)	15 02 02* (absorbentes, trapos, etc. contaminados con sustancias peligrosas)
Aceites lubricantes usados (minerales)	Sala de compresores / Mantenimiento mecánico	Peligroso (*)	13 02 05* (aceites minerales no clorados de motor, engranajes)
Lámparas y tubos fluorescentes fundidos	Toda la planta (iluminación)	Peligroso (*)	20 01 21* (tubos fluorescentes y otros residuos que contienen mercurio)
Equipos electrónicos obsoletos	Oficinas Administrativas / Área de Control	Peligroso (*)	20 01 35* (equipos eléctricos obsoletos que contienen componentes peligrosos)
Envases plásticos de embalaje (filmes, cubas, crates)	Logística / Almacén de suministros	No Peligroso	15 01 02 (embalajes de plástico)
Cajas y embalajes de cartón	Logística / Almacén	No Peligroso	15 01 01 (embalajes de papel y cartón)
Palets de madera limpios	Logística / Almacén	No Peligroso	15 01 03 (embalajes de madera)
Chatarra férrea y de acero	Talleres de mantenimiento	No Peligroso	17 04 05 (hierro y acero)

Papel de oficina	Oficinas Administrativas	No Peligroso	20 01 01 (papel y cartón)
Residuos municipales mezclados (zonas comunes)	Zonas comunes de toda la planta	No Peligroso	20 03 01 (residuos municipales mezclados)

6.3.1.2. Tratamiento de los residuos sólidos

Los tratamientos de los residuos se realizarán de forma independiente según las necesidades específicas de cada uno. Para asegurar un proceso correcto, se llevará a cabo una separación rigurosa en el punto de generación, depositando los desechos en los diversos contenedores distribuidos estratégicamente por toda la planta. Estos recipientes serán vaciados obligatoriamente con una periodicidad mínima semanal o siempre que su capacidad se vea completada. Para optimizar la logística, los residuos se trasladarán desde los puntos de recogida interna hacia contenedores de mayor volumen situados en el exterior de la planta, facilitando así su recolección por parte de empresas gestoras externas autorizadas.

A continuación, se detallan las especificaciones de tratamiento para cada categoría de residuo sólido identificada en las instalaciones de FORMIQ:

Papel y cartón. Representa una fracción significativa de los residuos generados en las áreas administrativas y logísticas de la planta. Se incluyen aquí folios usados, documentos impresos, cajas de embalaje, carpetas y archivadores de cartón. Para su correcta gestión, se dispondrá de contenedores azules distribuidos estratégicamente. Se debe asegurar que el papel no esté contaminado con productos químicos del proceso de formalina para permitir su reciclaje mecánico posterior.



Figura 6.3. Contenedor de papel y cartón

Plásticos i envases. En la zona de producción y mantenimiento de FORMIQ, así como en las áreas de servicios, se generan residuos como botellas de plástico, latas de bebidas, envases de

productos de limpieza y filmes de embalaje. Estos materiales deben segregarse en el contenedor amarillo. Es fundamental que los envases industriales que hayan contenido metanol o aditivos químicos peligrosos no se mezclen en este contenedor, ya que requieren un tratamiento como residuo peligroso.



Figura 6.4. Contenedor de plásticos

Materia orgánica. En esta categoría se incluyen los restos de alimentos, pequeños residuos vegetales, papel de cocina o servilletas sucias y cápsulas de café compostables generados principalmente en el área de trabajadores de FORMIQ. Estos residuos pertenecen al grupo de la fracción orgánica y, por tanto, deben depositarse en el contenedor marrón. Al igual que en otras instalaciones industriales, en las oficinas se podrán utilizar papeleras de menor tamaño específicas para este residuo por razones de operatividad y estética.



Figura 6.5. Contenedor de materia orgánica

Vidrio. Los residuos de vidrio no contaminado, como botellas o tarros procedentes del uso diario del personal o ciertos recipientes de laboratorio que no contengan sustancias peligrosas, se

depositarán en el contenedor verde. El vidrio debe introducirse sin tapas ni restos de otros materiales para facilitar su posterior valorización.

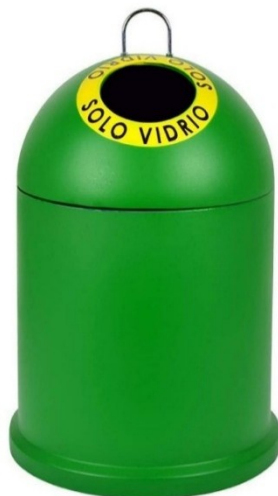


Figura 6.6. Contenedor de vidrio.

Residuos de resto y material de oficina. Aquellos materiales que no pueden ser reutilizados ni destinados a las fracciones de reciclaje anteriores, como bolígrafos usados o pequeños residuos de limpieza no peligrosos, se clasifican como "resto". En las oficinas de FORMIQ, se habilitarán contenedores grises para recoger estos desechos.



Figura 6.7. Contenedor de residuos de resto.

Pilas y baterías. Una vez agotadas, las pilas se convierten en un residuo tóxico que, de no gestionarse correctamente, podría filtrar metales pesados al suelo y contaminar aguas subterráneas. Debido a su peligrosidad, se dispondrá de contenedores especiales (o específicos

de gestión externa) que serán vaciados periódicamente por una empresa especializada para su correcto reciclaje y neutralización.



Figura 6.8. Contenedor de pilas

Bombillas y fluorescentes. Al contener elementos como el mercurio, estos residuos son altamente tóxicos y perjudiciales para el medio ambiente y la salud humana. Las lámparas y tubos fundidos en la planta de FORMIQ se almacenarán de forma segura en contenedores especializados, diseñados para evitar roturas accidentales hasta su recogida por un gestor externo autorizado.



Figura 6.9. Contenedores de bombillas y fluorescentes.

Material de primeros auxilios. En las instalaciones de FORMIQ, los residuos sanitarios derivados de la asistencia médica inicial o de curas menores, tales como gasas, algodones, vendas, mascarillas y guantes, se clasifican como residuos del Grupo II. Según la normativa vigente, este

tipo de materiales presenta un riesgo para la salud y el medio ambiente equivalente al de los residuos sólidos urbanos, por lo que su segregación debe ser inmediata para evitar el contacto con otros flujos de residuos industriales de la planta.

6.3.4. Residuos Líquidos

A diferencia de otras instalaciones químicas donde se generan corrientes líquidas contaminadas procedentes del proceso, en la planta de producción de FORMIQ no se producen residuos líquidos derivados directamente de la reacción ni de las operaciones de absorción. El diseño del proceso, basado en un sistema cerrado de recirculación y en la ausencia de purgas líquidas del reactor o de la torre de absorción, permite que el funcionamiento normal de la planta no genere efluentes líquidos industriales.

No obstante, existen dos fuentes puntuales que deben considerarse dentro de la categoría de residuos líquidos:

A) Aceite térmico de los intercambiadores

El aceite térmico se utiliza como fluido en los intercambiadores de calor del proceso. Con el paso del tiempo, este aceite sufre degradación térmica y oxidativa, perdiendo propiedades como la capacidad calorífica, la estabilidad térmica, la viscosidad o la resistencia a la oxidación.

Por este motivo, debe sustituirse aproximadamente cada 3-4 años, durante los días de parada anual de la planta, dependiendo de las operaciones térmicas que haya sufrido el proceso al largo de estos años.

El aceite térmico se considera residuo peligroso, ya que puede contener:

- Productos de degradación
- Compuestos aromáticos
- Trazas de metales procedentes del circuito
- Restos de aditivos

Para la gestión de este residuo, se extrae del circuito mediante bombeo controlado. Después, se almacena en un contenedor homologado para residuos sólidos y se etiqueta según el Reglamento CE 1272/2008 (CLP). Finalmente se entrega a un gestor autorizado para su valoración energética o tratamiento final.

Este es el único residuo líquido industrial significativo generado por la planta.

B) Aguas de limpieza

En planta se realizan 2 tipos de operaciones de limpieza:

- Limpieza rutinaria de superficies y zonas de trabajo:
Se emplea agua con detergentes neutros biodegradables. Estas aguas no entran en contacto con metanol ni formaldehído, por lo que se consideran aguas no contaminadas y se gestionan como aguas asimilables a urbanas, vertidas en red municipal.

- Limpieza anual de equipos auxiliares
Incluye tuberías externas, bombas o válvulas que no contienen producto. No se utilizan reactivos peligrosos y no existe contacto con sustancias de proceso. Estas aguas también se gestionan como aguas no contaminadas

A) Aguas pluviales

Las aguas de lluvia que caen sobre la planta no entran en contacto con producto químico, ya que los equipos de proceso están cerrados, los tanques disponen de cubetos estancos y no existen zonas de carga/descargas expuestas a derrames. Por tanto, las aguas pluviales se desvían directamente al alcantarillado, clasificándose como no contaminadas.

B) Aguas de servicio

Proceden de sanitarios, duchas, vestuarios y comedor. Estas aguas contienen materia orgánica típica de uso humano y se gestionan como aguas urbanas, enviándose a la EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales) municipal.

C) Fugas o derrames accidentales

Aunque la probabilidad de fugas de metanol o formol es muy baja, la planta dispone de cubetos de retención en tanques y zonas críticas, bandejas estancas en bombas y conexiones y sistema de contención en carga y descarga.

En caso de producirse un derrame, el líquido queda confinado y se gestiona como residuo líquido peligroso, evitándose a un gestor autorizado o a EDAR industrial, según la naturaleza del producto.

D) Residuos líquidos del laboratorio

Las actividades de control de calidad generan pequeñas cantidades de disoluciones de formaldehído, reactivos analíticos y mezclas acuosas contaminadas.

Estos residuos no pueden verterse a la red, y se almacenan en contenedores etiquetados para su gestión externa por un gestor autorizado.

6.3.5. Residuos Gaseosos

La producción de formaldehído mediante oxidación catalítica de metanol genera diversas corrientes gaseosas que, si no se gestionan adecuadamente pueden suponer un riesgo para el medio ambiente y la salud humana. Estas emisiones incluyen tanto gases producidos durante el proceso como emisiones de combustión y emisiones difusas asociadas a equipos y operaciones auxiliares. Su control es crítico ya que el formaldehído está clasificado como sustancia cancerígena y el metanol como sustancia tóxica.

Para la seguridad del personal y la protección del medio ambiente, la planta debe aplicar las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) para minimizar estas emisiones y garantizar el cumplimiento de la normativa vigente.

A) Lavado de gases

En FORMIQ, todas las corrientes gaseosas procedentes de los diferentes equipos del proceso se conducen hacia un sistema de tratamiento mediante un lavador de gases. Este tipo de equipo constituye la principal barrera ambiental para la reducción de emisiones atmosféricas y está diseñado conforme las MTD para instalaciones químicas orgánicas.

Además, los gases de respiración e inertización de los tanques de almacenamiento de metanol, formados por una mezcla de nitrógeno y metanol en fase vapor, también se integran en este sistema de tratamiento. Aunque el nitrógeno actúa como gas inerte, al estar en contacto con el espacio de vapor del tanque arrastra metanol, por lo que esta corriente se considera una emisión de COV y debe ser tratada conjuntamente con el resto de gases del proceso.

El funcionamiento del lavador se basa en el contacto entre el gas contaminado y un medio líquido absorbente, lo que permite retener el metanol y el formaldehído presentes en la corriente gaseosa. Los cálculos de dimensionamiento, caudales de operación, eficiencia de absorción y pérdidas de carga de los sistemas están desarrollados en detalle en el *Capítulo 11. Manual de Cálculo*, donde se justifica su capacidad para cumplir con los límites de emisión establecidos.

Gracias a este sistema, las emisiones atmosféricas se reducen de forma significativa, garantizando que los gases liberados a la atmósfera cumplan los valores límite de emisión aplicables. Además, el diseño del lavador permite recuperar el metanol absorbido, el cual se separa del medio líquido y se reincorpora al inicio del proceso, contribuyendo a la eficiencia global de la planta y reduciendo tanto el consumo de materia prima como la generación de residuos.

Este enfoque integrado de tratamiento y recuperación no solo minimiza el impacto ambiental, sino que también mejora la sostenibilidad económica del proceso, alineándose con los principios de economía circular.

B) Desionización de IBC mediante nitrógeno

Una vez vaciados, los IBC utilizados para el transporte de metanol y formol se inertizan mediante nitrógeno gaseoso para eliminar vapores residuales y garantizar la seguridad en su manipulación.

Esta limpieza no genera residuo ya que se trata de un gas inerte, no tóxico y no reactivo y forma parte del aire (78%). Su liberación no se considera emisión contaminante, por tanto, no se clasifica como residuo dentro del sistema de gestión ambiental de la planta.

6.4 Contaminación acústica

La actividad industrial genera niveles de ruidos asociados al funcionamiento de las máquinas, ventiladores, bombas, compresores y al movimiento de vehículos internos. Aunque el ruido no es un contaminante físico en sí, pueda afectar al entorno próximo y a la salud de los trabajadores, por lo que es necesario su evaluación y aplicar medidas de control necesarias.

6.4.1. Normativa

La contaminación acústica en instalaciones industriales está regulada principalmente por:

- **Ley 37/2003 del Ruido y RD 1307/2007**

Establecen objetivos de calidad acústica y los límites de emisión al exterior

- **RD 286/2006**
Decreto que habla sobre la protección de los trabajadores frente al ruido en el interior de una planta
- **Normativa autonómica y municipal**
Depende del municipio y puede fijar límites más estrictos según la zonificación acústica.

La planta debe cumplir simultáneamente con los límites exteriores e interiores aplicables.

6.4.2. Valores límite de emisión acústica

Estos valores límite dependen del tipo de zona donde se ubique la instalación.

Para un entrono industrial como es el de la planta de Formiq, los límites no superados son los siguientes:

- **Exterior:**
 - Diurno: 70-75 dB
 - Nocturno: 60-65 dB
- **Interior:**
 - Límite diario (8h): 87 dB
 - Valores de acción. 80-85 dB

6.4.3. Tratamiento de la contaminación acústica

Para minimizar el impacto acústico, la planta aplica diferentes medidas de diseño y operación:

- **Aislamiento y encapsulamiento** de equipos ruidosos como ventiladores, compresores o bombas
- **Soportes antivibratorios**
- **Barreras acústicas** en zonas exteriores próximas al perímetro
- **Mantenimiento preventivo** que evita el ruido excesivo por desgaste
- **Gestión operativa**, priorizando actividades ruidosas en horarios diurnos
- **Protección individual** para trabajadores en zonas donde se superen los límites establecidos

6.5 Contaminación lumínica

La contaminación lumínica es la alteración de la oscuridad natural del cielo durante la noche producida por la emisión de luz artificial mal dirigida o excesiva. Se produce principalmente cuando la luz se emite en direcciones innecesarias, como hacia el cielo o zonas donde no se requiere, generando un aumento de brillo del cielo nocturno y la pérdida de oscuridad natural.

Sus efectos principales son:

- Impacto ambiental en los ciclos naturales de los animales y plantas
- Impacto en la salud humana ya que puede afectar al ritmo cardíaco y al descanso
- Impacto energético y económico (si supone un gasto innecesario)
- Impacto científico y cultural ya que dificulta la observación astronómica y a la contemplación del cielo estrellado

Por todo, es necesario hacer un estudio de esta contaminación y verificar el cumplimiento de las normativas dentro de la planta de producción, para obtener un equilibrio entre la iluminación y la sostenibilidad.

6.5.1. Normativa

La contaminación lumínica está regulada en España mediante un conjunto de normas estatales y autonómicas cuyo objetivo es minimizar el impacto de la iluminación artificial sobre el medio ambiente, la salud y la eficiencia energética.

Las actuales normativas más relevantes para una planta industrial de producción de formol y que se deben tener en cuenta son:

- **Ley 34/2007, calidad del aire y protección de la atmosfera.**
Tiene como objetivo principal garantizar niveles de calidad del aire que eviten riesgos o efectos negativos sobre la salud humana, el medio ambiente y otros bienes
- **Real Decreto 1890/2008.**
Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior (REEIAE), el cual fija requisitos de eficiencia, limitación de flujo hemisférico superior (FHS) y niveles máximos de luminiscencia, así como reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y minimizar la contaminación.
- **Norma UNE-EN 13201**
Se refiere a la iluminación de carreteras y establece los requisitos de prestaciones. Esta norma es parte de un conjunto más amplio que incluye normas como *UNE-EN 13201* que se centra en el cálculo de prestaciones o *UNE-EN 13201-4*, que trata sobre métodos de medición de las prestaciones fotométricas.
- **Normativa autonómica específica (Decreto 190/2015 de contaminación lumínica)**
Desarrolla la *Ley 6/2001* sobre la ordenación ambiental del alumbrado para la protección del medio nocturno en Cataluña. Su objetivo principal es regular las instalaciones de iluminación exterior y interior para prevenir la contaminación lumínica, mejorar la eficiencia energética y proteger el medio ambiente.
- **Reglamento de seguridad industrial**
Regula las normas y disposiciones legales para garantizar la seguridad y el correcto funcionamiento de las instalaciones industriales en España. En este reglamento también se incluyen especificaciones dentro del marco de la iluminación.

6.5.2. Valores límite de emisiones luminosas

Los valores establecidos como límites dependen de la zona ambiental donde se ubique la planta industrial. En un entorno industrial típico, los límites más relevantes son:

- **Flujo Hemisférico Superior (FHS):**

Es el porcentaje del flujo luminoso total emitido por una luminaria que se dirige hacia el hemisferio superior, es decir, hacia el cielo.

Un valor de FHS de 0% significa que la luz no se escapa hacia arriba mientras que un valor de FHS de 100%, significa que toda la luz se pierde iluminando el cielo.

En zonas naturales, residenciales o mixtas, el valor límite es del 1% mientras que en zonas industriales, el valor límite es <5%, aunque se recomienda no superar el 1% para minimizar el impacto.

Este parámetro es el más crítico para evitar el brillo del cielo nocturno.

- **Iluminancia (lux):**

Este parámetro hace referencia a la cantidad de luz que llega a una superficie y se mide en lux (lx).

- Iluminancia media (E_m): Promedio de luz en una zona concreta
- Iluminancia mínima (E_{min}): Garantiza seguridad en áreas críticas
- Iluminancia vertical (E_v): Luz que incide sobre fachadas o ventanas

Los valores típicos de este parámetro están separados dependiendo de la zona donde se trabaje. En vías internas la iluminación ronda los 5-20 lux, en zonas de operación, 20-50 lux y en áreas de seguridad, este debe tener un valor de hasta 100 lux.

Este parámetro controla la luz útil y evita la sobre iluminación innecesaria.

- **Luminancia (cd/m^2):**

Es la cantidad de luz emitida o reflejada por una superficie en una dirección concreta. Este parámetro mide el brillo percibido.

Sus valores límite dependen del tipo de vía o zona, según la normativa *UNE-EN 13201*. En entornos industriales, suele limitarse para evitar deslumbramientos.

Este factor evita deslumbramientos a trabajadores y vehículos y reduce la dispersión de luz hacia el entorno.

- **Temperatura de color (CCT, en Kelvin):**

Indica el tono de la luz y tiene un impacto visual y emocional de la iluminación. Se suele usar en el ámbito del diseño y se recomienda no sobrepasar un valor de 3.000K para reducir la dispersión de la luz azul en zonas próximas a áreas naturales

- **Índice de deslumbramiento (UGR):**

Es un valor que mide el deslumbramiento provocado por una fuente de luz en un espacio interior. Este índice se expresa en una escala del 10 al 30, donde valores más altos indican mayor deslumbramiento.

- <13: Deslumbramiento imperceptible
- 16-19: Ideal para trabajos de oficina y lectura
- >22: Deslumbramiento molesto que puede causar fatiga visual

- **Horarios y niveles de reducción:**

Por normativa, muchas instalaciones deben reducir el flujo luminoso durante horas de baja actividad.

Normalmente, se impone reducir entre 30-50% de la luz entre medianoche y el amanecer en zonas urbanas.

Esta implementación minimiza el impacto ambiental sin comprometer la seguridad.

6.5.3. Tratamiento de la contaminación lumínica

Para minimizar la contaminación lumínica generada por la planta, se implementan las siguientes medidas de diseño y operación:

- **Diseño de luminarias:**
 - Uso de luminarias **Full Cut-Off** o **cero emisiones al hemisferio superior** evitando cualquier flujo de luz hacia el cielo
 - Instalación de ópticas asimétricas que dirigen la luz únicamente hacia las zonas de trabajo
 - Empleo de **LED de alta eficacia** con CCT<300K para reducir la dispersión atmosférica.
- **Control y gestión de la iluminación:**
 - Incorporación de sensores y temporizadores para ajustar el encendido de las diferentes luces según la necesidad real
 - Reducción automática del flujo luminoso durante horas de baja actividad
 - Sectores de iluminación independientes para iluminar solo áreas operativas
- **Integración con la seguridad industrial:**
 - Iluminación de emergencia y de seguridad diseñada para activarse solo cuando sea necesario
 - Uso de balizas de baja intensidad en zonas de tránsito nocturno
- **Mantenimiento preventivo:**
 - Limpieza periódica de luminarias para mantener la eficacia
 - Sustitución programada de los equipos
- **Evaluación ambiental:**
 - Realización de mediciones periódicas de iluminancia y luminancia
 - Verificación del cumplimiento de los límites establecidos por normativa

6.6 Evaluación del impacto medioambiental

La evaluación del impacto ambiental permite identificar, cuantificar y valorar los efectos que la actividad de FORMIQ puede generar sobre el entorno. Para ello, se utiliza la Matriz de Leopold, una herramienta ampliamente empleada en estudios de impacto que facilita el análisis sistemático de las interacciones entre acciones del proyecto y los factores ambientales potencialmente afectados.

6.6.1. Matriz de Leopold

La Matriz de Leopold es un método de evaluación que relaciona, en forma de tabla bidimensional, las acciones del proyecto con los factores ambientales susceptibles de verse afectados.

Cada intersección se valora mediante dos parámetros:

- Magnitud del impacto (de -10 a +10): indica la intensidad del efecto
- Importancia del impacto (de -10 a +10): refleja la relevancia ambiental del efecto

Los valores negativos representan impactos adversos mientras que los positivos indican efectos beneficiosos. Este método permite obtener una visión global del comportamiento ambiental de la instalación y priorizar las medidas de mitigación.

6.6.2. Procedimiento de la Matriz de Leopold

Para la planta de producción de formaldehído de FORMIQ, el procedimiento seguido para elaborar la matriz ha sido el siguiente:

1. Identificación de las acciones del proyecto
 - A1: Edificación
 - A2: Recepción y almacenamiento de metanol
 - A3: Reacción catalítica
 - A4: Absorción y producción de formol
 - A5: Emisiones gaseosas del proceso
 - A6: Consumo energético
 - A7: Gestión de residuos sólidos
 - A8: Gestión del aceite térmico (residuo líquido)
 - A9: Limpieza y mantenimiento anual
 - A10: Transporte interno y externo
 - A11: Oficinas
 - A12: Laboratorios
2. Identificación de los factores ambientales afectados
 - Agua
 - Calidad
 - Consumo de energía

- Atmosfera
 - Calidad
 - Contaminación lumínica
 - Contaminación acústica
- Suelo
 - Calidad
- Flora y fauna
 - Biodiversidad
 - Animales
 - Vegetación
- Factores socioeconómicos
 - Seguridad
 - Salud humana
 - Ocupación laboral
 - Valorización de la zona
- Energía
 - Consumo energético

3. Valoración de cada interacción

Para cada combinación acción-factor, se ha asignado una magnitud y una importancia basada en las características del proceso, la naturaleza de los residuos generados, las medidas de mitigación aplicadas y la normativa ambiental vigente. Además, para la evaluación de estas características, se ha seguido la siguiente tabla:

Tabla 6.3: Impactos Positivos de la Matriz de Leopold

IMPACTOS POSITIVOS					
MAGNITUD			IMPORTANCIA		
Intensidad	Afectación	Calificación (+)	Duración	Influencia	Calificación (+)
Baja	Baja	+1	Temporal	Puntual	+1
Baja	Media	+2	Media	Puntual	+2
Baja	Alta	+3	Permanente	Puntual	+3
Media	Baja	+4	Temporal	Local	+4
Media	Media	+5	Media	Local	+5
Media	Alta	+6	Permanente	Local	+6
Alta	Baja	+7	Temporal	Regional	+7
Alta	Media	+8	Media	Regional	+8
Alta	Alta	+9	Permanente	Regional	+9
Muy Alta	Alta	+10	Permanente	Nacional	+10

Tabla 6.4: Impactos Negativos de la Matriz de Leopold

IMPACTOS NEGATIVOS					
MAGNITUD			IMPORTANCIA		
Intensidad	Afectación	Calificación (-)	Duración	Influencia	Calificación (-)
Baja	Baja	-1	Temporal	Puntual	-1
Baja	Media	-2	Media	Puntual	-2
Baja	Alta	-3	Permanente	Puntual	-3
Media	Baja	-4	Temporal	Local	-4
Media	Media	-5	Media	Local	-5
Media	Alta	-6	Permanente	Local	-6
Alta	Baja	-7	Temporal	Regional	-7
Alta	Media	-8	Media	Regional	-8
Alta	Alta	-9	Permanente	Regional	-9
Muy Alta	Alta	-10	Permanente	Nacional	-10

4. Elaboración de la matriz final

La matriz resultante permite identificar los impactos más significativos y evaluar la eficacia de las medidas preventivas y correctoras implementadas.

6.6.3. Matriz de Leopold del proyecto de FORMIQ

Tabla 6.5: Matriz de Leopold

Impacto Ambiental \ Acciones del Proyecto		Edificación	Recepción y almacenamiento de metanol	Reacción catalítica	Absorción y producción de formol	Emisiones gaseosas	Consumo energético	Gestión de residuos sólidos	Gestión de aceite térmico	Limpieza y mantenimiento	Transporte	Oficinas	Laboratorios	IMPACTO POSITIVO	IMPACTO NEGATIVO	IMPACTO TOTAL
Agua	Calidad	-2 3	-1 3		-1 3			-1 3	-2 4	-1 3	-1 3	-1 2	-1 3	0	-4	-4
Atmósfera	Calidad	-4 5	-4 6	-6 7	-3 5	-9 9	-1 3	-1 3	-1 3	-2 4	-3 5	-1 2	-1 3	0	-25	-25
	Contaminación lumínica	-3 4									-1 1	-3 6		0	-7	-7
	Contaminación acústica	-6 6								-1 2	-3 5			0	-10	-10
Suelo	Calidad	-5 6	-3 5					-2 4	-2 4	-2 4	-2 4		-1 3	0	-17	-17
Flora y fauna	Biodiversidad	-4 5	-1 3	-1 3	-1 3	-2 4	-1 3	-1 3	-1 3	-1 3	-1 3	-1 2		0	-15	-15
	Animales	-3 4	-1 3	-1 3	-1 3	-2 4					-1 3	-1 2		0	-10	-10
	Vegetación	-5 6	-1 3	-1 3	-1 3	-1 3								0	-9	-9
Factores socioeconómicos	Seguridad	-1 3	-3 6	-3 6	-2 5	-3 6		-2 5	-2 5	-3 6	-3 6	1 2	-2 5	0	-23	-23
	Salud humana	-2 4	-3 6	-4 7	-2 5	-7 9	-1 2	-2 5	-1 3	-2 5	-2 4	1 2	-2 5	1	-28	-27
	Ocupación laboral	3 3								1 2	1 2	2 3	1 2	8	0	8
	Valorización de la zona	2 3										1 2		3	0	3
Energía	Consumo energético	-3 4	-1 2	-2 4	-2 4		-6 8			-1 2	-1 2	-2 3	-1 2	0	-19	-19
IMPACTO POSITIVO		5	0	0	0	0	0	0	0	1	1	5	1	-168		
IMPACTO NEGATIVO		-34	-17	-18	-13	-24	-9	-9	-9	-14	-17	-9	-8			
IMPACTO TOTAL		-29	-17	-18	-13	-24	-9	-9	-9	-13	-16	-4	-7			

El análisis global de la matriz de impacto ambiental evidencia que el conjunto de acciones del proyecto presenta un impacto ambiental total negativo de -168, lo que indica una afectación significativa sobre el entorno, especialmente en las fases operativas y de transporte. Este resultado refleja que, aunque existen algunos efectos positivos asociados a la creación de empleo y a la mejora de la seguridad laboral, los impactos negativos derivados de emisiones, consumo energético y gestión de residuos son predominantes.

El valor de **Impacto Ambiental Total** de cada columna se obtiene mediante la suma directa de todos los impactos positivos y negativos asociados a cada acción del proyecto. Cada celda de la matriz representa un valor ponderado, que integra la magnitud del impacto y su importancia relativa sobre cada factor ambiental o socioeconómico. Por tanto, los valores finales no son simples magnitudes, sino resultados que reflejan la intensidad y la relevancia de cada efecto dentro del contexto del proyecto FORMIQ.

La fórmula aplicada se describe en la *Ecuación 6.1*:

$$\text{Impacto Ambiental Total} = \sum (\text{Impactos positivos}) + \sum (\text{Impactos negativos})$$

Ecuación 6.1: Cálculo Impacto Ambiental Total

De acuerdo con esta metodología, el total negativo (-168) se obtiene al sumar todos los impactos ambientales totales de las diferentes columnas. El resultado final muestra que los efectos adversos superan ampliamente los beneficios, confirmando la necesidad de implementar medidas de mitigación orientadas a reducir las emisiones y optimizar el consumo energético.

En conclusión, la matriz de Leopold permite identificar de manera cuantitativa las áreas críticas del proyecto y constituye una herramienta útil para priorizar acciones correctivas y garantizar un desarrollo más sostenible del proceso industrial.

6.7 Bibliografía

En este apartado se recogen las referencias bibliográficas consultadas para desarrollar el capítulo anterior.

- [1] Unión Europea. (2010). Directiva 2010/75/UE relativa a les emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación). EUR-Lex. Recuperado el 7 de abril de 2025 de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=celex:32010L0075>
- [2] BOE.es - DOUE-L-2006-82750 Reglamento (CE) nº 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de diciembre de 2006, relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH), por el que se crea la Agencia Europea de Sustancias y Preparados Químicos, se modifica la Directiva 1999/45/CE y se derogan el Reglamento (CEE) nº 793/93 del Consejo y el Reglamento (CE) nº 1488/94 de la Comisión así como la Directiva 76/769/CEE del Consejo y las Directivas 91/155/CEE, 93/67/CEE, 93/105/CE y 2000/21/CE de la Comisión. (n.d.). Boe.es. Retrieved June 11, 2026, from <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2006-82750>
- [3] Unión Europea. (2012). Directiva 2012/18/UE relativa al control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en que intervengan sustancias peligrosas (Seveso III). EUR-Lex. Recuperado el 11 de junio de 2025 de <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2012/18/oj/eng#>
- [4] BOE-A-2013-12913 Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental. (n.d.). Boe.es. Retrieved June 11, 2026, from <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2013-12913>
- [5] BOE-A-2013-10949 Real Decreto 815/2013, de 18 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación. (n.d.). Boe.es. Retrieved June 11, 2026, from <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2013-10949>
- [6] BOE-A-2022-5809 Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular. (n.d.). Boe.es. Retrieved June 11, 2026, from <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2022-5809>
- [7] BOE-A-2010-563 Ley 20/2009, de 4 de diciembre, de prevención y control ambiental de las actividades. (n.d.). Boe.es. Retrieved June 11, 2026, from <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2010-563>
- [8] Document. (n.d.). Portal Jurídic de Catalunya. Retrieved June 11, 2026, from <https://portaljuridic.gencat.cat/ca/document-del-pjur/?documentId=322238>
- [9] ISO 14001:2026. (2026). ISO. <https://www.iso.org/es/norma/14001>
- [10] Diferencias con ISO 14001. (n.d.). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Retrieved June 11, 2026, from <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-comunitario-de-ecogestion-y-ecoauditoria-emas/diferencias.html>
- [11] Reglamento (CE) n.º 1221/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de noviembre de 2009, relativo a la participación voluntaria de organizaciones en un sistema comunitario de gestión y auditoría medioambientales (EMAS), y por el que se derogan el Reglamento (CE) n.º 761/2001 y las Decisiones 2001/681/CE y 2006/193/CE de la Comisión. *Diario Oficial de la Unión*

Europea, L 342, de 22 de diciembre de 2009, pp. 1-45.
<https://www.boe.es/doue/2009/342/L00001-00045.pdf>

[12] AEC: Asociación Española para la Calidad - Impulsamos la Calidad. (2018 June 19). AEC; Asociación Española por la Calidad. <https://www.aec.es>

[13] Comisión Europea. (2026). *The EU Eco-Management and Audit Scheme (EMAS): Comparison with ISO 14001*. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea.
<https://ec.europa.eu/environment/emas/>

[14] BOE-A-2022-5809 Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular. (s/f). Boe.es. Recuperado el 13 de mayo de 2026, de <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2022-5809>

[15] BOE-A-2007-19744 Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera. (s/f). Boe.es. Recuperado el 13 de mayo de 2026, de <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2007-19744>

[16] BOE-A-2008-18634 Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07. (s/f). Boe.es. Recuperado el 13 de mayo de 2026, de <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2008-18634>

[17] BOE-A-2003-20976 Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido. (s/f). Boe.es. Recuperado el 13 de mayo de 2026, de <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2003-20976>

[18] Contaminación lumínica. (s/f). Medio Ambiente y Sostenibilidad. Recuperado el 13 de mayo de 2026, de https://mediambient.gencat.cat/es/05_ambits_dactuacio/atmosfera/contaminacio_luminica/

[19] Iluminación de carreteras. Parte 2: Requisitos de prestaciones. Une.org. Recuperado el 13 de mayo de 2026, de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=norma-une-en-13201-2-2016-n0057658&TermStoreId=30422a6b-6877-4e28-82d6-96d5dac7e3b1&TermSetId=68b35e67-1409-448a-b93c-10dd69a44760&TermId=64d4ad9d-ed1-4acd-915c-be64ad2a132d>

[20] *La matriz de Leopold: Para la evaluación del impacto ambiental*. Sdsu.edu. Recuperado el 13 de mayo de 2026, de https://ponce.sdsu.edu/la_matriz_de_leopold.html

[21] Dellavedova, A. E. A. M. (s/f). GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ELABORACIÓN DE UNA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL. Edu.ar. Recuperado el 13 de mayo de 2026, de <https://blogs.ead.unlp.edu.ar/planeamientofau/files/2013/05/Ficha-N%C2%BA-17-Gu%C3%ADa-metodol%C3%B3gica-para-la-elaboraci%C3%B3n-de-una-EIA.pdf>

[22] Google. (2026). *Modelo de generación de imágenes de Google* [Modelo generador de imágenes]. <https://gemini.google.com/>

[23] Pérez, F. (2015). Decreto 190/2015, de 25 de agosto, de desarrollo de la Ley 6/2001, de 31 de mayo, de ordenación ambiental del alumbrado para la protección del medio nocturno de Cataluña. *Actualidad jurídica ambiental*, 50, 47–48.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5686193>

[24] de Catalunya, G. (s/f). *Manual de gestió de residus industrials a Catalunya*. Gencat.cat. Recuperado el 13 de mayo de 2026, de https://residus.gencat.cat/web/.content/home/ambits_dactuacio/tipus_de_residu/residus_industrials/manual_de_gestio/manual_gestio.pdf