FORMICS
INDUSTRIAL CHEMICAL
FORMALDEHIDO DE CALIDAD

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FORMALDEHÍDO

LUIS M. APARICIO SÁNCHEZ
ALEJANDRO JUÁREZ SÁNCHEZ
MASOUMEH HONARKAR ASHNA
MANEL NÁJERA ROCABAYERA
EDUARD MARTÍ CARDONER
DAVID A. SARRIA VALDIVIA

TUTOR : JOSEP A. TORÀ SUAREZ

JUNIO 2026

UAB
Universitat Autònoma de Barcelona

CC BY NC ND

FORMICS
INDUSTRIAL CHEMICAL
FORMALDEHIDO DE CALIDAD

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FORMALDEHÍDO

CAPÍTULO 6. MEDIO AMBIENTE

UAB
Universitat Autònoma de Barcelona

CC BY NC ND

Tabla de contenido

Capítulo 6. Medio Ambiente 6
6.1 Introducción 6
6.2 Instrumentos obligatorios y de la administración 6
6.2.1 Autorizaciones, licencias y control ambiental 7
6.2.2 Mejores Técnicas Disponibles (MTD) 8
6.2.2.1 Marco europeo de las MTD y documentos BREF 9
6.2.3 Jerarquía de gestión de residuos 10
6.2.3.1 Prevención de la generación de residuos 10
6.2.3.2 Reutilización y reciclaje 11
6.2.3.3 Valorización de residuos 11
6.2.3.4 Eliminación de residuos 12
6.2.3.5 Tipología de residuos generados 12
6.2.3.6 Responsabilidad ambiental 13
6.3 Gestión ambiental de la planta 13
6.3.1 Políticas y normativas ambientales 14
6.3.1.1 Referencia a la norma ISO 14001 15
6.3.1.2 Sistema EMAS (Eco-Management and Audit Scheme) 16
6.3.2 Sistemas de gestión ambiental 17
6.4 Gestión de residuos 19
6.4.1 Residuos sólidos 19
6.4.1.1 Zonas de generación de residuos sólidos 21
6.4.1.2 Tratamiento de los residuos sólidos 23
6.4.2 Residuos líquidos 25
6.4.2.1 Clasificación de los residuos líquidos 25
6.4.2.2 Gestión y control de los residuos líquidos 26
6.4.2.3 Localización 27
6.4.2.4 Tratamiento de los residuos líquidos 28
6.4.3 Residuos gaseosos 29
6.4.3.1 Localización 31
6.4.3.2. Inventario de emisiones atmosféricas 31
6.4.3.3 Tratamiento de los residuos gaseosos 33
6.4.3.4 Dimensionamiento del reactor biológico 36
6.5 Otros contaminantes 38
6.5.1 Contaminación lumínica 38
6.5.1.1 Márgenes legales 39
6.5.1.2 Tratamiento 40
6.5.2 Contaminación acústica 40
6.5.2.1 Márgenes legales 41
6.5.2.2 Tratamiento 42

6.6 Gestión externa 42
6.6.1 Suministro de materias primas 43
6.6.2 Gestión externa de residuos 43
6.6.3 Impactos ambientales y medidas asociadas 46
6.7 Matriz de Leopold 47
6.7.1 Criterios de valoración 48
6.8 Bibliografía 57

Capítulo 6. Medio Ambiente

6.1 Introducción

La industria química es una de las actividades industriales con mayor potencial de impacto sobre el medio ambiente, debido al uso de sustancias peligrosas, la generación de emisiones atmosféricas y la producción de residuos líquidos y sólidos. En el caso del presente proyecto, correspondiente al diseño de una planta de producción de formaldehído mediante el proceso FORMOX, se ha considerado el impacto ambiental como un aspecto fundamental desde la fase de diseño.

La planta proyectada será operada por la empresa Formics Industrial Chemical, dedicada a la producción de formaldehído en disolución acuosa para su uso como producto intermedio en la industria química. Dado que el proceso implica el manejo de sustancias como el metanol y el formaldehído, ambos con riesgos ambientales asociados principalmente a su volatilidad y toxicidad, resulta imprescindible establecer medidas preventivas y de control que permitan minimizar el impacto ambiental de la actividad y garantizar el cumplimiento de la normativa vigente.

En este capítulo se analizan los instrumentos de control ambiental aplicables a la actividad de Formics Industrial Chemical, así como los principales focos de impacto ambiental asociados al proceso productivo, la gestión de residuos generados y las emisiones atmosféricas. El análisis se realiza tomando como referencia la legislación europea, estatal y autonómica aplicable, con el objetivo de asegurar que la instalación opere de forma sostenible y conforme a los requisitos medioambientales exigidos.

6.2 Instrumentos obligatorios y de la administración

La actividad industrial proyectada de Formics Industrial Chemical, dedicada a la producción de formaldehído mediante el proceso FORMOX, presenta un potencial impacto ambiental significativo debido al uso de sustancias peligrosas y a la generación de emisiones atmosféricas y residuos. Por este motivo, antes de la puesta en marcha de la planta, resulta necesario el cumplimiento de un conjunto de instrumentos administrativos y autorizaciones ambientales, establecidos por la legislación vigente, con el objetivo de garantizar una adecuada protección del medio ambiente y de la salud pública.

Estos instrumentos permiten a las administraciones competentes evaluar los impactos asociados a la actividad, fijar condiciones de explotación ambiental y establecer mecanismos de control y seguimiento durante la operación de la instalación.

6.2.1 Autorizaciones, licencias y control ambiental

La planta proyectada se encuentra sujeta al régimen de prevención y control ambiental, de acuerdo con la Llei 20/2009, de prevención y control ambiental de las actividades, al tratarse de una instalación industrial del sector químico con capacidad para generar emisiones contaminantes relevantes. En función de la ubicación definitiva y de la capacidad de producción, la actividad deberá someterse a la correspondiente autorización ambiental, que integrará los distintos requisitos relativos a emisiones, vertidos, residuos y protección del entorno.

Adicionalmente, la instalación queda afectada por el Real Decreto 815/2013, por el que se regula el control integrado de la contaminación, al encontrarse dentro del ámbito de aplicación de las actividades industriales contempladas en la normativa de emisiones industriales. En este marco, la planta deberá disponer de una Autorización Ambiental Integrada (AAI), que establecerá las condiciones ambientales de funcionamiento, incluyendo límites de emisión, programas de vigilancia ambiental y requisitos de control.

En particular, la AAI deberá contemplar los siguientes aspectos:

- Emisiones a la atmósfera, derivadas principalmente de la presencia de formaldehído y metanol, reguladas conforme al Real Decreto 117/2003, relativo a la limitación de emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COVs).
- Vertidos y efluentes líquidos, procedentes de operaciones de limpieza, purgas o mantenimiento, que deberán gestionarse conforme al sistema de saneamiento correspondiente o mediante gestores autorizados.
- Gestión de residuos, tanto peligrosos como no peligrosos, de acuerdo con la legislación vigente en materia de residuos.

Por otro lado, la planta deberá inscribirse como productora de residuos, conforme a la normativa aplicable, y garantizar que todos los residuos generados sean gestionados por operadores autorizados, en cumplimiento del Catálogo Europeo de Residuos (CER).

Asimismo, el almacenamiento y manipulación de sustancias peligrosas, como el metanol y el formol, deberá cumplir con los requisitos establecidos en la reglamentación APQ, así como con el Reglamento CLP en lo relativo a la clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas químicas.

Desde el punto de vista administrativo y urbanístico, será necesaria la obtención de la licencia ambiental y urbanística municipal, que garantice la compatibilidad de la actividad con el planeamiento urbano y los requisitos ambientales locales.

Finalmente, la empresa deberá implantar un sistema de control y seguimiento ambiental, que incluya la vigilancia periódica de emisiones, la realización de inspecciones internas y la comunicación a la autoridad competente de cualquier incidencia ambiental significativa, en cumplimiento del marco establecido por la legislación vigente.

6.2.2 Mejores Técnicas Disponibles (MTD)

La protección del medio ambiente frente a los impactos generados por las actividades industriales se basa, a nivel europeo, en la aplicación de técnicas que permitan reducir las emisiones contaminantes y el consumo de recursos de forma eficaz y sostenible. En este contexto, la Directiva 2010/75/UE sobre emisiones industriales, transpuesta al ordenamiento jurídico español mediante el Real Decreto 815/2013, establece la obligación de que determinadas instalaciones industriales operen teniendo en cuenta las Mejores Técnicas Disponibles (MTD).

Las MTD se definen como aquellas técnicas que, aplicadas de manera adecuada, permiten alcanzar un alto nivel de protección ambiental, siempre que sean técnicamente viables y económicamente asumibles. Estas técnicas deben considerarse a lo largo de todo el ciclo de vida de la instalación, incluyendo el diseño, la construcción, la explotación, el mantenimiento y, en su caso, el desmantelamiento.

En el caso de la planta proyectada de Formics Industrial Chemical, dedicada a la producción de formaldehído mediante el proceso FORMOX, el diseño se ha planteado de forma que incorpore soluciones técnicas alineadas con los principios de las MTD. Entre estos principios destacan la reducción de emisiones a la atmósfera, el control de vertidos, la limitación de la generación de residuos y el uso eficiente de materias primas y energía.

La aplicación de estos criterios no solo contribuye al cumplimiento de la normativa ambiental vigente, sino que también favorece una mejora del rendimiento del proceso y un comportamiento ambiental más sostenible de la instalación.

En la planta diseñada para la producción de formaldehído mediante el proceso FORMOX, las principales actuaciones alineadas con las Mejores Técnicas Disponibles incluyen el empleo de reactores catalíticos de alta selectividad, la recuperación del formaldehído mediante absorción en agua, la minimización de emisiones fugitivas mediante sistemas cerrados, la optimización energética mediante integración térmica y el control de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles. La aplicación de estas medidas contribuye a reducir el consumo de materias primas y energía, así como el impacto ambiental asociado al proceso productivo.

6.2.2.1 Marco europeo de las MTD y documentos BREF

Las Mejores Técnicas Disponibles se desarrollan y armonizan a nivel europeo a través de los denominados documentos BREF (Best Available Techniques Reference Documents), elaborados por la Comisión Europea como herramienta de referencia para los distintos sectores industriales. Estos documentos tienen como finalidad proporcionar una base técnica común que permita identificar las técnicas más eficaces desde el punto de vista ambiental y facilitar un enfoque homogéneo en la aplicación de la normativa de emisiones industriales.

Los documentos BREF recopilan información detallada sobre los procesos productivos de cada sector, los principales focos de impacto ambiental, las técnicas de prevención y control

disponibles y el comportamiento ambiental alcanzable mediante su aplicación. Además, sirven como apoyo a las autoridades competentes en la definición de condiciones ambientales específicas y a las empresas en la mejora de sus prácticas industriales.

Aunque en el presente Trabajo de Fin de Grado no se realiza un análisis detallado de un documento BREF concreto, el enfoque adoptado en el diseño de la planta de Formics Industrial Chemical es coherente con los principios generales que estos documentos promueven. En particular, se han considerado aspectos como la minimización de emisiones de compuestos orgánicos volátiles, el uso de sistemas cerrados, la recuperación del formaldehído mediante absorción gas-líquido y la correcta gestión de residuos.

De este modo, el proyecto se alinea con el marco europeo de referencia en materia de MTD, asegurando que las decisiones de diseño se adoptan conforme a criterios ampliamente aceptados en la industria química y con un alto nivel de protección ambiental.

6.2.3 Jerarquía de gestión de residuos

De acuerdo con la normativa aplicable, la gestión de residuos debe seguir un orden de prioridades, siempre que ello sea técnica y económicamente viable. Esta jerarquía se estructura, de mayor a menor preferencia, en las siguientes etapas:

1. Prevención
2. Preparación para la reutilización
3. Reciclaje
4. Valorización
5. Eliminación

El diseño de la planta de Formics Industrial Chemical contempla medidas específicas orientadas a cumplir esta jerarquía y reducir el impacto ambiental asociado a la actividad productiva.

6.2.3.1 Prevención de la generación de residuos

La prevención constituye la primera y más importante etapa en la gestión de residuos. En este sentido, el diseño del proceso productivo se orienta a:

- Maximizar la conversión del metanol en la etapa de reacción, reduciendo la generación de subproductos y corrientes residuales.
- Operar en sistemas cerrados, minimizando pérdidas y derrames.
- Optimizar las condiciones de proceso para reducir purgas y limpiezas innecesarias.

Estas medidas permiten reducir la cantidad total de residuos generados y disminuir su peligrosidad.

6.2.3.2 Reutilización y reciclaje

Siempre que es posible, se plantea la reutilización interna de corrientes dentro del propio proceso, evitando su consideración como residuo. En aquellos casos en los que la reutilización directa no resulta viable, se prioriza el reciclaje de materiales, especialmente en el caso de envases, materiales auxiliares y determinados residuos sólidos generados durante las operaciones de mantenimiento.

No obstante, la elevada toxicidad y reactividad del formaldehído y del metanol limita las opciones de reciclaje convencional para determinadas corrientes líquidas, que deben gestionarse mediante sistemas externos autorizados.

6.2.3.3 Valorización de residuos

Determinados residuos orgánicos líquidos pueden ser susceptibles de valorización energética, siempre que cumplan los requisitos técnicos y normativos establecidos. Esta opción se contempla únicamente cuando no es posible la reutilización o el reciclaje, y se realiza en instalaciones especializadas que disponen de los sistemas necesarios para el control de emisiones y la protección del medio ambiente.

6.2.3.4 Eliminación de residuos

La eliminación se considera como la última alternativa en la jerarquía de gestión de residuos. Esta opción se reserva para aquellos residuos peligrosos que, debido a su composición o características, no pueden ser tratados de otra manera. En estos casos, los residuos se entregan a gestores autorizados, de acuerdo con la clasificación establecida en el Catálogo Europeo de Residuos (CER).

La eliminación se realiza siempre cumpliendo la normativa vigente y garantizando la trazabilidad y control de los residuos generados.

6.2.3.5 Tipología de residuos generados

Durante la operación de la planta pueden generarse los siguientes tipos de residuos:

- Residuos sólidos, tales como envases contaminados, materiales absorbentes, residuos procedentes de mantenimiento y el catalizador gastado del reactor FORMOX.

Entre los residuos específicos asociados al proceso FORMOX se encuentra el catalizador agotado empleado en el reactor de oxidación de metanol. Este catalizador, basado habitualmente en óxidos metálicos de hierro y molibdeno, pierde progresivamente actividad debido a fenómenos de desactivación y envejecimiento. Una vez finalizada su vida útil, debe gestionarse mediante gestores autorizados, priorizando su recuperación o valorización cuando resulte técnica y económicamente viable.

- Residuos líquidos, incluyendo aguas de limpieza con trazas de formaldehído o metanol.
- Residuos peligrosos, que se clasifican y gestionan conforme al CER y la legislación aplicable.

Durante la operación de la planta pueden generarse distintos tipos de residuos y corrientes residuales asociadas al proceso FORMOX:

• Residuos sólidos, como envases contaminados, materiales absorbentes, equipos de protección individual y residuos procedentes de operaciones de mantenimiento.

• Residuos líquidos, incluyendo aguas de lavado y limpieza con presencia de trazas de formaldehído, metanol o ácido fórmico.

• Corrientes gaseosas que contienen principalmente nitrógeno, oxígeno residual, dióxido de carbono y pequeñas cantidades de formaldehído y metanol no absorbidos, las cuales deben tratarse antes de su emisión a la atmósfera.

• Catalizador agotado procedente de la etapa de oxidación catalítica del metanol, gestionado mediante gestores autorizados.

Todos estos residuos y corrientes residuales se almacenan temporalmente en zonas habilitadas y se gestionan de acuerdo con la normativa vigente y siguiendo criterios de minimización, valorización y control ambiental.

6.2.3.6 Responsabilidad ambiental

La gestión de residuos se enmarca dentro del régimen de responsabilidad medioambiental, conforme a lo establecido en la Ley 26/2007, que obliga al titular de la instalación a prevenir, evitar y reparar los posibles daños medioambientales derivados de su actividad. En este sentido, la correcta gestión de residuos constituye una medida preventiva fundamental para reducir el riesgo de contaminación del suelo, las aguas y la atmósfera.

6.3 Gestión ambiental de la planta

La gestión ambiental constituye un elemento esencial en el diseño y planificación de la planta proyectada de Formics Industrial Chemical, dado que la actividad industrial asociada a la producción de formaldehído puede generar impactos significativos sobre el medio ambiente si no se adoptan las medidas adecuadas. Por este motivo, la variable ambiental se ha integrado desde las fases iniciales del proyecto, con el objetivo de reducir al máximo los efectos negativos derivados del proceso productivo.

La gestión ambiental de la planta se basa en la aplicación de un conjunto de medidas técnicas, organizativas y operativas orientadas a prevenir la contaminación, controlar los focos de impacto ambiental y garantizar una correcta gestión de los residuos y emisiones generados. Para ello, es necesario tener en cuenta los distintos tipos de impactos ambientales que pueden producirse, tales como emisiones atmosféricas, generación de residuos sólidos y líquidos, consumo de recursos naturales y posibles riesgos de contaminación accidental.

Uno de los aspectos clave de la gestión ambiental es la recogida y clasificación adecuada de los residuos, tanto aquellos generados directamente durante el proceso de producción como los derivados de las actividades de mantenimiento y operación cotidiana de la planta. La correcta segregación de residuos facilita su tratamiento posterior y permite aplicar las opciones de gestión más adecuadas en función de sus características y peligrosidad.

Asimismo, el transporte y tratamiento de los residuos debe realizarse mediante medios y procedimientos adecuados, garantizando que cada tipo de residuo sea gestionado conforme a la normativa vigente. En aquellos casos en los que resulte viable, se prioriza la reutilización, recuperación o valorización de los residuos, mientras que la eliminación se reserva únicamente para aquellos residuos que no pueden ser tratados de otra forma.

De manera complementaria, se consideran otras técnicas de gestión ambiental, como el control de emisiones, la optimización de procesos para reducir consumos y la implantación de medidas preventivas frente a situaciones accidentales. La aplicación conjunta de todas estas actuaciones permite minimizar el impacto ambiental de la planta y asegurar una explotación industrial compatible con la protección del entorno.

6.3.1 Políticas y normativas ambientales

La gestión ambiental de Formics Industrial Chemical se apoya en el cumplimiento estricto de la normativa ambiental aplicable, así como en la adopción de políticas internas orientadas a mejorar el comportamiento ambiental de la empresa. Las políticas y normativas ambientales establecen el marco de actuación que permite garantizar un nivel mínimo de protección del medio ambiente y definir las responsabilidades asociadas a la actividad industrial.

Las disposiciones legales fijan los límites, requisitos y obligaciones que deben cumplir las instalaciones industriales para prevenir la contaminación y reducir los impactos negativos sobre el entorno. El cumplimiento de estas normativas no solo es una exigencia legal, sino que

también contribuye a mejorar la imagen de la empresa y a reforzar su credibilidad frente a las administraciones públicas, clientes y otros agentes interesados.

Además del cumplimiento de la legislación vigente, el proyecto adopta como referencia sistemas y marcos voluntarios de gestión ambiental, tales como la norma ISO 14001 y el sistema EMAS, que promueven la mejora continua y una gestión estructurada de los aspectos ambientales. Aunque el presente proyecto no contempla la implantación ni certificación formal de estos sistemas, sus principios generales se han tenido en cuenta en el diseño de la planta, especialmente en lo relativo a la identificación de impactos, la definición de objetivos ambientales y el control de los procesos.

La correcta aplicación de políticas y normativas ambientales permite a la empresa establecer una estrategia clara en materia de sostenibilidad, facilitando la toma de decisiones y la planificación de acciones orientadas a la reducción del impacto ambiental. Asimismo, este enfoque favorece el desarrollo a largo plazo de la actividad industrial, al integrar la protección del medio ambiente como un elemento fundamental dentro de la estrategia empresarial.

En conjunto, la consideración de políticas y normativas ambientales proporciona a Formics Industrial Chemical una base sólida para desarrollar una gestión ambiental responsable y eficiente, alineada con los principios de sostenibilidad y respeto por el entorno.

6.3.1.1 Referencia a la norma ISO 14001

La norma ISO 14001 es un estándar internacional de aplicación voluntaria que proporciona un marco de referencia para la implantación de sistemas de gestión ambiental en organizaciones de cualquier sector. Su finalidad principal es facilitar la identificación, evaluación y control de los aspectos ambientales asociados a las actividades industriales, promoviendo un enfoque basado en la mejora continua del desempeño ambiental.

La aplicación de esta norma permite a las empresas estructurar sus actuaciones en materia ambiental mediante la definición de una política ambiental, el establecimiento de objetivos y metas, y la implantación de procedimientos destinados a prevenir la contaminación y asegurar el cumplimiento de la legislación vigente. Asimismo, la norma contempla la revisión periódica del sistema con el fin de evaluar su eficacia y detectar oportunidades de mejora.

En el caso de la planta proyectada de Formics Industrial Chemical, no se plantea la implantación ni certificación formal de un sistema de gestión ambiental conforme a la ISO 14001, dado que el presente trabajo se limita a un nivel de diseño conceptual. No obstante, el enfoque seguido en el proyecto es coherente con los principios fundamentales recogidos en dicha norma, en particular en lo relativo a la identificación de los principales aspectos ambientales, el control de emisiones, la adecuada gestión de residuos y la prevención de riesgos ambientales.

La consideración de estos principios desde la fase de diseño contribuye a integrar la variable ambiental en la planificación del proceso productivo y refuerza el compromiso de la empresa

con una explotación industrial responsable. Este planteamiento permite mejorar la sostenibilidad de la instalación y puede facilitar, en un desarrollo futuro del proyecto, la implantación de un sistema de gestión ambiental conforme a estándares internacionales.

6.3.1.2 Sistema EMAS (Eco-Management and Audit Scheme)

El sistema EMAS (Eco-Management and Audit Scheme) es una iniciativa voluntaria promovida por la Unión Europea que tiene como objetivo mejorar el comportamiento ambiental de las organizaciones mediante la implantación de sistemas de gestión ambiental y la evaluación continua de su desempeño. EMAS se encuentra regulado por el Reglamento (CE) nº 1221/2009, y está orientado a aquellas entidades que desean ir más allá del simple cumplimiento de la normativa ambiental.

Este sistema proporciona un marco estructurado que permite a las organizaciones analizar los impactos ambientales derivados de sus actividades, productos y servicios, establecer una política ambiental, definir objetivos de mejora y evaluar periódicamente el grado de cumplimiento de dichos objetivos. Uno de los aspectos diferenciadores de EMAS respecto a otros sistemas de gestión ambiental es su énfasis en la transparencia y comunicación pública, ya que exige la elaboración de una declaración ambiental, validada por un verificador independiente y accesible al público.

Desde el punto de vista de gestión ambiental, EMAS incorpora los requisitos de normas internacionales como ISO 14001, pero añade exigencias adicionales en materia de cumplimiento legal, participación del personal y verificación externa. Esto convierte al sistema EMAS en una herramienta especialmente completa para organizaciones con un alto compromiso ambiental.

En el presente proyecto, correspondiente a la planta de Formics Industrial Chemical dedicada a la producción de formaldehído, no se contempla la implantación ni el registro formal en el sistema EMAS, dado que el alcance del trabajo se limita al diseño conceptual de la instalación. No obstante, el enfoque adoptado en el proyecto es compatible con los principios generales del sistema EMAS, en particular en lo relativo a la identificación de aspectos ambientales, la prevención de la contaminación, el control de emisiones atmosféricas y la correcta gestión de residuos.

La consideración de estos principios desde las fases iniciales de diseño refuerza la orientación ambiental del proyecto y sienta una base adecuada para que, en un desarrollo futuro de la planta, pueda evaluarse la implantación de sistemas voluntarios de gestión ambiental como EMAS, si así se considera oportuno.

6.3.2 Sistemas de gestión ambiental

Con el fin de garantizar una actuación ambiental responsable y coherente con la normativa vigente, la gestión ambiental de la planta proyectada de Formics Industrial Chemical se basa en la adopción de un enfoque estructurado que permita identificar, evaluar y controlar los impactos ambientales derivados de la actividad industrial. Este enfoque toma como referencia los principios recogidos en normas voluntarias de gestión ambiental, como ISO 14001 y EMAS, sin que ello implique necesariamente su implantación o certificación formal dentro del alcance del presente proyecto.

En primer lugar, la gestión ambiental se articula a partir de la definición de una política ambiental, alineada con la estrategia de la empresa, en la que se establecen compromisos orientados a la prevención de la contaminación, el cumplimiento de la legislación ambiental y la mejora continua del desempeño ambiental. A partir de esta política, se definen objetivos y metas ambientales, cuantificables y revisables, que permiten evaluar el grado de avance y eficacia de las medidas implantadas.

Asimismo, se prevé el desarrollo de procedimientos operativos y de control destinados a identificar y evaluar los principales aspectos ambientales asociados a la planta, tales como emisiones atmosféricas, generación de residuos, consumo de recursos y riesgo de vertidos accidentales. Estos procedimientos facilitan la toma de decisiones y permiten priorizar acciones correctivas o preventivas sobre aquellos aspectos con mayor impacto potencial.

Para asegurar un seguimiento adecuado del funcionamiento del sistema, se contempla la realización de revisiones periódicas internas, que permitirían detectar desviaciones respecto a los objetivos establecidos y proponer medidas de mejora. Estas revisiones, aunque no constituyen auditorías formales certificadas, contribuyen a reforzar el control ambiental de la instalación y a mejorar la capacidad de respuesta frente a situaciones no previstas.

Adicionalmente, el planteamiento de la gestión ambiental tiene en cuenta la relación de la empresa con su entorno, promoviendo una actitud responsable en la selección de proveedores y colaboradores, priorizando aquellos que demuestren un comportamiento ambiental adecuado. De este modo, se busca extender los criterios de sostenibilidad más allá de los límites físicos de la planta.

La implantación de este enfoque de gestión ambiental aporta una serie de beneficios relevantes para Formics Industrial Chemical, entre los que se incluyen:

- Mejora del desempeño ambiental, mediante la reducción de emisiones, residuos y consumos innecesarios.
- Optimización de costes, derivada de una gestión más eficiente de materiales y recursos.
- Refuerzo de la imagen corporativa, al demostrar un compromiso explícito con la protección del medio ambiente.

- Mejora de la relación con las administraciones y el entorno, facilitando la tramitación de autorizaciones y permisos.
- Base para un desarrollo futuro del sistema, que permitiría la implantación de sistemas de gestión ambiental certificados si así se considera oportuno.

6.4 Gestión de residuos

La actividad industrial desarrollada en la planta proyectada de Formics Industrial Chemical genera distintos tipos de residuos que deben ser gestionados de manera adecuada con el fin de reducir su impacto sobre el medio ambiente y garantizar el cumplimiento de la legislación vigente. Una gestión correcta de los residuos constituye un elemento esencial dentro de la política ambiental de la empresa y forma parte del enfoque preventivo adoptado en el diseño del proceso productivo.

La gestión de residuos se plantea conforme a los principios establecidos en la normativa ambiental aplicable, priorizando la prevención de la generación de residuos, la reducción de su peligrosidad y la aplicación de las opciones de gestión más adecuadas en función de su naturaleza. Para ello, resulta imprescindible realizar una correcta identificación, clasificación y segregación de los residuos generados en las distintas etapas del proceso, así como en las actividades auxiliares y de mantenimiento.

Cada tipología de residuo generado en la instalación requiere un tratamiento específico, que puede incluir su reutilización, valorización o eliminación final, siempre dentro de los márgenes legales establecidos. En este sentido, la empresa orienta su estrategia hacia la mejora continua, incorporando prácticas que permitan optimizar la gestión de residuos y reducir progresivamente la cantidad de residuos enviados a eliminación.

La correcta gestión de los residuos contribuye no solo a la protección del entorno, sino también a una explotación industrial más eficiente y sostenible, alineada con los objetivos ambientales definidos para la planta.

6.4.1 Residuos sólidos

Durante la operación normal de la planta pueden generarse diferentes residuos sólidos, cuya naturaleza depende tanto del proceso productivo como de las actividades de apoyo y mantenimiento. Estos residuos se clasifican en función de su origen y características, diferenciándose principalmente entre residuos sólidos de origen industrial y residuos asimilables a urbanos.

Los residuos sólidos de origen industrial son aquellos que se generan directamente como consecuencia del funcionamiento del proceso de producción y de las tareas de mantenimiento

asociadas. En el caso de la planta de Formics Industrial Chemical, este grupo puede incluir, entre otros:

- Materiales procedentes de operaciones de mantenimiento de equipos.
- Filtros y elementos de separación utilizados en el proceso.
- Componentes y piezas sustituidas de maquinaria e instalaciones.
- Residuos de laboratorio derivados del control de calidad y análisis de proceso.

Estos residuos pueden presentar carácter peligroso debido a la posible presencia de formaldehído o metanol, por lo que deben gestionarse conforme a la clasificación establecida en el Catálogo Europeo de Residuos (CER) y entregarse a gestores autorizados, garantizando su correcta trazabilidad.

Por otro lado, los residuos sólidos asimilables a urbanos son aquellos generados en áreas no directamente relacionadas con el proceso productivo, como oficinas, zonas comunes o áreas de descanso del personal. Este grupo incluye residuos como papel y cartón, envases, plásticos, vidrio, restos orgánicos, material de limpieza y residuos procedentes del uso cotidiano de las instalaciones.

La gestión de estos residuos se basa en su separación en origen y en la aplicación de sistemas de recogida selectiva, lo que facilita su posterior reciclaje o valorización y reduce la cantidad de residuos destinados a eliminación.

6.4.1.1 Zonas de generación de residuos sólidos

Con el objetivo de garantizar una gestión adecuada de los residuos sólidos generados en la planta proyectada de Formics Industrial Chemical, resulta necesario identificar las zonas de la instalación en las que se produce cada tipología de residuo. Esta identificación permite mejorar la segregación en origen, facilitar la clasificación conforme al Catálogo Europeo de Residuos y optimizar su posterior gestión, en cumplimiento de la normativa ambiental vigente.

La localización de las zonas de generación de residuos sólidos se ha realizado teniendo en cuenta tanto las áreas directamente vinculadas al proceso productivo como aquellas destinadas a actividades auxiliares y de apoyo. De este modo, es posible diferenciar entre residuos generados en áreas industriales propiamente dichas y residuos derivados de actividades no productivas, como oficinas o zonas comunes.

En las áreas de proceso y mantenimiento se generan principalmente residuos sólidos de origen industrial, relacionados con el funcionamiento y la conservación de los equipos. Estos residuos pueden incluir componentes sustituidos, elementos filtrantes, materiales de limpieza industrial o restos de operaciones de mantenimiento, y suelen presentar una mayor peligrosidad debido a su posible contacto con formaldehído o metanol. Por este motivo, su identificación por zonas resulta clave para asegurar una correcta manipulación y almacenamiento temporal.

Por otro lado, en las zonas de servicios generales, tales como oficinas, vestuarios y áreas de descanso del personal, se generan residuos sólidos asimilables a urbanos. Estos residuos no están directamente relacionados con el proceso productivo y presentan características similares a los residuos domésticos, permitiendo su gestión mediante sistemas de recogida selectiva convencionales.

La identificación de las zonas de generación de residuos sólidos facilita la implantación de medidas específicas en cada área, como la disposición de contenedores adecuados, la señalización de puntos de recogida y la formación del personal. Asimismo, permite mejorar el control ambiental de la instalación y reducir el riesgo de mezclas indebidas de residuos. En la siguiente tabla, se presentan las zonas de generación de residuos sólidos.

Tabla 6.4.1 Zonas de generación de residuos sólidos

Tipo de residuo sólido	Zona de generación principal	Origen / actividad asociada	Clasificación general
Componentes y piezas de equipos	Zona 100–200	Sustitución y reparación de equipos del proceso	Industrial
Elementos filtrantes usados	Zona 200–300	Operación normal y mantenimiento de sistemas de filtración	Industrial
Materiales de limpieza industrial	Zona 100–300	Limpieza de instalaciones y equipos productivos	Industrial
Residuos de laboratorio	Zona 300	Análisis de materias primas y producto final	Industrial
Envases contaminados	Zona 000–100	Manipulación de metanol y formol	Industrial
Equipos de protección individual usados	Todas	Actividades de operación y mantenimiento	Industrial
Papel y cartón	Todas	Actividades administrativas	Urbano
Envases y plásticos	Todas	Consumo cotidiano del personal	Urbano

Tipo de residuo sólido	Zona de generación principal	Origen / actividad asociada	Clasificación general
Vidrio	Todas	Uso cotidiano en zonas no productivas	Urbano
Residuos orgánicos	Todas	Actividades del personal (comedor / zonas comunes)	Urbano

La clasificación de los residuos se realiza conforme al Catálogo Europeo de Residuos (CER), en función de su origen y características.

Los residuos industriales pueden presentar carácter peligroso si han estado en contacto con formaldehído o metanol, debiendo gestionarse mediante gestores autorizados.

Los residuos asimilables a urbanos se gestionan mediante sistemas de recogida selectiva, priorizando el reciclaje cuando sea posible.

La identificación de las zonas se ha realizado siguiendo la sectorización definida en el estudio HAZOP de la planta, donde se distinguen las áreas de almacenamiento, proceso, reacción y tratamiento en la que se identifican las distintas áreas en función de su función dentro del proceso (producción, tratamiento, almacenamiento o análisis), con el objetivo de facilitar la localización de los puntos de generación de residuos.

6.4.1.2 Tratamiento de los residuos sólidos

El tratamiento de los residuos sólidos generados en la planta de Formics Industrial Chemical se ha planteado de forma diferenciada en función de la tipología de residuo y de sus características, con el objetivo de garantizar una gestión segura, eficiente y conforme a la legislación ambiental vigente. Para ello, resulta fundamental efectuar una correcta segregación en origen, evitando la mezcla de residuos incompatibles y facilitando su posterior manipulación y tratamiento.

Con carácter general, los residuos sólidos se depositan en contenedores específicos y claramente identificados, ubicados de manera estratégica en las distintas áreas de la planta en función del origen del residuo. Esta distribución permite minimizar desplazamientos innecesarios, reducir el riesgo de contaminación cruzada y fomentar buenas prácticas ambientales entre el personal operativo.

Los residuos sólidos de origen industrial, generados principalmente en las áreas de proceso, mantenimiento y laboratorio, se almacenan temporalmente en zonas habilitadas, protegidas y señalizadas, a la espera de su retirada. Estos residuos pueden presentar un grado de peligrosidad

elevado debido al posible contacto con formaldehído o metanol, por lo que su gestión se realiza respetando estrictamente los criterios de clasificación establecidos en el Catálogo Europeo de Residuos (CER). Antes de su traslado, los residuos se acondicionan adecuadamente, garantizando que se encuentren correctamente etiquetados y en envases compatibles con su naturaleza.

La recogida y el tratamiento final de los residuos industriales se llevan a cabo a través de gestores externos autorizados, que se encargan de su transporte, valorización o eliminación, según corresponda en cada caso. Este procedimiento asegura la trazabilidad del residuo desde su generación hasta su destino final, cumpliendo con los requisitos establecidos en la normativa sobre residuos.

Por otro lado, los residuos sólidos asimilables a urbanos, generados en oficinas, zonas comunes y áreas de descanso, se gestionan mediante sistemas de recogida selectiva, favoreciendo su reciclaje y valorización siempre que sea posible. Estos residuos se depositan en contenedores diferenciados por fracciones, lo que permite reducir la cantidad de residuos destinados a eliminación y mejorar el desempeño ambiental global de la planta.

De manera complementaria, se prevé la aplicación de medidas organizativas, como la formación del personal y la señalización adecuada de los puntos de recogida, con el fin de asegurar el correcto uso de los contenedores y el cumplimiento de los procedimientos de gestión establecidos.

En conjunto, el tratamiento de los residuos sólidos adoptado permite minimizar los impactos ambientales asociados a la actividad industrial, reducir riesgos para el personal y el entorno, y garantizar una gestión alineada con los principios de prevención, control y responsabilidad medioambiental.

6.4.2 Residuos líquidos

La generación de residuos líquidos es un aspecto relevante en la industria química, dado que estos efluentes pueden contener sustancias contaminantes en concentraciones significativas si no se gestionan adecuadamente. En el caso de la planta proyectada de Formics Industrial Chemical, dedicada a la producción de formaldehído mediante el proceso FORMOX, la gestión de los residuos líquidos se ha considerado desde la fase de diseño con el objetivo de prevenir la contaminación del medio acuático y del suelo, y garantizar el cumplimiento de la normativa ambiental vigente.

Los residuos líquidos generados en la instalación se controlan en función de su origen, composición y peligrosidad, evitando su vertido directo sin una gestión previa adecuada. Este enfoque permite minimizar el impacto ambiental de la actividad industrial y reducir los riesgos asociados a posibles vertidos accidentales.

6.4.2.1 Clasificación de los residuos líquidos

Con el fin de facilitar una gestión adecuada, los residuos líquidos generados en la planta se clasifican en las siguientes categorías principales:

- Aguas residuales de origen industrial, procedentes de operaciones de limpieza de equipos, purgas de proceso y actividades de mantenimiento, que pueden contener trazas de formaldehído o metanol.
- Aguas pluviales, recogidas en las zonas exteriores de la planta, cuya gestión se realiza de forma separada siempre que no exista riesgo de contaminación.
- Aguas residuales de uso sanitario, generadas en vestuarios y servicios del personal, con características similares a las aguas residuales domésticas.
- Residuos líquidos de laboratorio, derivados de las actividades de control de calidad y análisis de proceso, generalmente generados en pequeñas cantidades pero con un mayor potencial de peligrosidad.

En la siguiente tabla, se presentan las zonas de generación de residuos líquidos.

Tabla 6.4.2. Zonas de generación de residuos líquidos

Tipo de residuo líquido	Zona de generación principal	Origen / actividad asociada	Clasificación general
Aguas de proceso	Zona 200	Operación del reactor y corrientes del proceso	Industrial
Purgas del proceso	Zona 200	Control del proceso y eliminación de acumulaciones	Industrial
Aguas de laboratorio	Zona 300	Análisis de materias primas y producto final	Industrial
Aguas de almacenamiento contaminadas	Zona 000	Manipulación y almacenamiento de metanol y formol	Industrial
Aguas sanitarias	Todas	Servicios, vestuarios y zonas comunes	Urbano

Tipo de residuo líquido	Zona de generación principal	Origen / actividad asociada	Clasificación general
Efluentes de mantenimiento	Zona 100–200	Operaciones de mantenimiento en equipos de proceso	Industrial

6.4.2.2 Gestión y control de los residuos líquidos

La gestión de los residuos líquidos en la planta se basa en un principio de control preventivo, evitando en todo momento la evacuación de efluentes sin una evaluación previa de sus características. Los residuos líquidos de origen industrial y de laboratorio se recogen de forma segregada y se gestionan mediante gestores externos autorizados, de acuerdo con su clasificación y peligrosidad.

Las aguas residuales de uso sanitario se conducen al sistema de saneamiento correspondiente, conforme a la legislación vigente y a las autorizaciones ambientales aplicables. En el caso de las aguas pluviales, se implantan medidas destinadas a prevenir su contaminación mediante una correcta separación de redes y el control de posibles arrastres en zonas de almacenamiento de productos químicos.

Asimismo, se establecen procedimientos de control y vigilancia que permiten detectar cualquier incidencia relacionada con los residuos líquidos, garantizando una respuesta rápida ante situaciones anómalas y reduciendo el riesgo de contaminación del medio ambiente.

6.4.2.3 Localización

Para poder gestionar adecuadamente los residuos líquidos generados en la planta, es necesario identificar con precisión las zonas en las que se originan. Esta identificación permite establecer estrategias específicas de recogida, almacenamiento y tratamiento para cada corriente, evitando posibles impactos sobre el medio ambiente y facilitando el cumplimiento de la normativa vigente.

En la planta de producción de formaldehído, la mayor parte de los residuos líquidos se generan en las áreas directamente relacionadas con el proceso productivo. En particular, las corrientes asociadas al funcionamiento del reactor, como las aguas de proceso y las purgas, se localizan en la zona 200, donde se lleva a cabo la reacción principal. Estas corrientes pueden contener pequeñas cantidades de metanol o formaldehído, por lo que requieren una gestión controlada.

Por otro lado, en la zona 100, correspondiente a las etapas previas de acondicionamiento y mezcla de corrientes, también pueden generarse efluentes relacionados con operaciones

auxiliares o tareas de mantenimiento. Estas corrientes suelen presentar una menor carga contaminante, pero igualmente deben tratarse dentro del sistema general de gestión de residuos.

En la zona 300, donde se encuentran las unidades de absorción y tratamiento de gases, así como el laboratorio de control, se generan residuos líquidos derivados de los análisis y del propio proceso de depuración. Aunque estos efluentes suelen producirse en menor cantidad, pueden presentar una composición más variable, lo que hace necesaria su gestión diferenciada.

Por su parte, las corrientes generadas en la zona 000, correspondiente al almacenamiento de materias primas, están asociadas principalmente a operaciones de carga, descarga o posibles limpiezas de tanques. En este caso, las aguas contaminadas se consideran residuos industriales y requieren un control específico para evitar vertidos incontrolados.

Finalmente, las aguas de origen sanitario, generadas en zonas de uso general como vestuarios o áreas administrativas, no presentan en condiciones normales contaminación química relevante, por lo que se gestionan de forma separada como aguas residuales urbanas.

6.4.2.4 Tratamiento de los residuos líquidos

Los residuos líquidos generados en la planta de Formics Industrial Chemical presentan características y composiciones diferentes en función de su origen, por lo que no resulta adecuado aplicar un único tratamiento para todos ellos. En consecuencia, el enfoque adoptado para su tratamiento se basa en una gestión diferenciada de los efluentes, que permita garantizar una correcta protección del medio ambiente y el cumplimiento de la normativa vigente.

Con carácter general, se evita el vertido directo de residuos líquidos sin una evaluación previa de sus propiedades, priorizando su recogida segregada y su gestión mediante gestores externos autorizados, de acuerdo con su clasificación y peligrosidad. Este criterio permite reducir el riesgo de contaminación de las aguas y del suelo, así como asegurar una trazabilidad adecuada de los residuos generados.

En función del tipo de residuo líquido, se consideran los siguientes ámbitos de actuación:

- Aguas residuales de origen industrial: incluyen los efluentes procedentes de operaciones de limpieza de equipos, purgas de proceso y actividades de mantenimiento. Estas corrientes pueden contener trazas de formaldehído o metanol, por lo que se gestionan de forma separada y se entregan a empresas externas especializadas en el tratamiento de residuos líquidos industriales, garantizando su tratamiento conforme a la legislación ambiental.
- Aguas pluviales: las aguas de lluvia recogidas en las zonas exteriores de la planta se gestionan mediante sistemas de drenaje independientes, siempre que no exista riesgo de contacto con sustancias contaminantes. En caso de posible contaminación, estas aguas se tratan como residuos líquidos industriales, evitando su vertido incontrolado al medio ambiente.

- Aguas residuales de uso sanitario: procedentes de vestuarios, lavabos y servicios generales del personal. Estas aguas, al no estar en contacto con el proceso productivo ni con sustancias peligrosas, se conducen al sistema de saneamiento correspondiente, conforme a las autorizaciones ambientales aplicables.

- Residuos líquidos de laboratorio: generados durante las actividades de control de calidad y análisis. Aunque se producen en cantidades reducidas, pueden presentar una mayor peligrosidad debido a su composición, por lo que se recogen de forma independiente y se gestionan mediante gestores autorizados especializados en residuos de laboratorio.

6.4.3 Residuos gaseosos

Las emisiones gaseosas constituyen uno de los principales focos de impacto ambiental en la industria química, dado que los gases emitidos se liberan directamente a la atmósfera y pueden contener sustancias contaminantes. En la planta proyectada de Formics Industrial Chemical, dedicada a la producción de formaldehído, la gestión de los residuos gaseosos se ha considerado desde la fase de diseño con el objetivo de minimizar su impacto ambiental y garantizar el cumplimiento de la normativa vigente.

La identificación y clasificación de las emisiones gaseosas permite aplicar medidas de control adecuadas y reducir tanto las emisiones continuas como las asociadas a operaciones puntuales. En este sentido, se han identificado las siguientes tipologías de residuos gaseosos dentro de la instalación:

- Gases generados en el proceso productivo: procedentes principalmente de la reacción de oxidación del metanol y de las corrientes de salida del reactor. Estas corrientes pueden contener compuestos orgánicos volátiles, como formaldehído y trazas de metanol, por lo que se conducen a sistemas de tratamiento adecuados antes de su liberación al exterior.

- Gases procedentes de la inertización con nitrógeno: generados durante operaciones de seguridad en equipos y tanques. Aunque estos gases no presentan carácter contaminante significativo, su emisión se controla para evitar liberaciones innecesarias.

- Gases emitidos desde los tanques de almacenamiento: asociados a operaciones de llenado, vaciado y respiración de los tanques de metanol y formol. Estas emisiones se gestionan mediante sistemas de venteo controlado y, cuando resulta necesario, dispositivos de seguridad que limitan la liberación de compuestos orgánicos volátiles.

- Emisiones durante la puesta en marcha y parada de la instalación: emisiones de carácter transitorio que pueden producirse durante fases no estacionarias del proceso. Estas emisiones se consideran en el diseño operativo de la planta y se gestionan aplicando procedimientos específicos que reduzcan su duración e intensidad.

- Gases de purga y alivio: generados para garantizar el correcto funcionamiento y la seguridad de determinados equipos. Estas corrientes se conducen a sistemas adecuados para minimizar su impacto ambiental.

La gestión de los residuos gaseosos se basa en un enfoque preventivo, priorizando la reducción de emisiones en origen, la recuperación de sustancias cuando sea posible y el control de los focos de emisión, en línea con lo establecido en la normativa sobre emisiones industriales y compuestos orgánicos volátiles.

6.4.3.1 Localización

En la siguiente tabla se representan las principales corrientes de residuos gaseosos generadas en la planta, así como las zonas en las que se originan.

Tabla 6.4.3. Zonas de generación de residuos gaseosos

Residuos gaseosos	Zona
Gases del proceso	Zona 200–300
Gases de inertización	Zona 100–200
Gases de almacenamiento	Zona 000
Emisiones durante puesta en marcha y parada	Todas
Gases de purga y alivio	Zona 200–300

6.4.3.2. Inventario de emisiones atmosféricas

La producción de formaldehído mediante el proceso FORMOX genera diversas corrientes gaseosas que pueden contener contaminantes atmosféricos. Los principales compuestos emitidos son dióxido de carbono, generado durante la oxidación catalítica del metanol, así como pequeñas cantidades de formaldehído y metanol no absorbidos en las etapas de recuperación del producto. Adicionalmente, existen emisiones asociadas al almacenamiento de materias primas y producto final, así como a operaciones de mantenimiento y puesta en marcha de la instalación.

En la Tabla 6.4.4 se resumen los principales focos de emisión identificados en la planta.

Tabla 6.4.4. Resumen de los principales focos de emisión de Formics

Foco de emisión	Corriente	Principales contaminantes
Reactor FORMOX	Salida reactores	CO_2, H_2O, formaldehído residual, metanol no reaccionado
PreAbs	GasOut	Formaldehído y metanol residual
Scrubber	Gas a ambiente	Trazas de formaldehído y metanol
Tanques de almacenamiento	Venteos de respiración	Metanol y formaldehído (COV)
Operaciones de mantenimiento	Apertura de equipos	Metanol y formaldehído (COV)
Sistemas de alivio y seguridad	Venteos de emergencia	Mezclas gaseosas con formaldehído y metanol

Como puede observarse, los principales contaminantes atmosféricos asociados al proceso FORMOX son el formaldehído y el metanol, ambos clasificados como compuestos orgánicos volátiles (COV). Asimismo, se genera dióxido de carbono como subproducto de la reacción de oxidación del metanol. Por este motivo, la planta incorpora sistemas de absorción y depuración destinados a minimizar las emisiones atmosféricas antes de su descarga al exterior.

Con el fin de identificar los principales focos de impacto atmosférico asociados a la producción de formaldehído mediante el proceso FORMOX, se ha realizado un análisis de las corrientes gaseosas presentes en las distintas etapas de la instalación. Estas emisiones proceden principalmente de las unidades de reacción, absorción y almacenamiento, y pueden contener dióxido de carbono generado durante la reacción de oxidación del metanol, así como pequeñas cantidades de formaldehído y metanol no recuperados durante el proceso.

La identificación de estos focos resulta fundamental para definir las estrategias de control y tratamiento de emisiones, así como para garantizar el cumplimiento de la normativa ambiental aplicable.

A continuación, se presenta un resumen en la Tabla 6.4.5 de los principales focos de emisión atmosférica identificados en la planta y de los contaminantes asociados a cada uno de ellos.

Tabla 6.4.5. Resumen de los principales focos de emisión atmosférica de Formics

Foco	Equipo del PFD	Corriente	Principales contaminantes
F1	PFR-100	Salida reactores	CO_2, H_2O, formaldehído residual, metanol no reaccionado
F2	T-100 (PreAbs)	GasOut	Formaldehído y metanol residual
F3	T-101 (Scrubber)	Gas a ambiente	Trazas de formaldehído y metanol
F4	Tanque de metanol	Venteos de respiración	Metanol (COV)
F5	Tanque de formol	Venteos de respiración	Formaldehído y metanol
F6	Operaciones de mantenimiento y puesta en marcha	Emisiones temporales	COVs (metanol y formaldehído)

6.4.3.3 Tratamiento de los residuos gaseosos

La planta de producción de formaldehído mediante el proceso FORMOX genera diferentes corrientes gaseosas asociadas principalmente a las etapas de reacción, absorción, almacenamiento y manipulación de materias primas y productos intermedios. Estas emisiones están constituidas mayoritariamente por aire, nitrógeno y vapor de agua, aunque también contienen pequeñas cantidades de compuestos orgánicos volátiles (COV), principalmente formaldehído y metanol no reaccionado.

Debido a la toxicidad del formaldehído y al carácter inflamable y volátil del metanol, resulta necesario incorporar sistemas de tratamiento que permitan minimizar las emisiones atmosféricas y garantizar el cumplimiento de la normativa ambiental vigente relativa a emisiones industriales y compuestos orgánicos volátiles.

Con el objetivo de seleccionar la alternativa de tratamiento más adecuada, se analizaron las corrientes gaseosas obtenidas mediante la simulación del proceso en Aspen HYSYS. A partir de los resultados obtenidos se observó que las corrientes de venteo presentan elevados caudales de aire y vapor de agua, mientras que las concentraciones de formaldehído y metanol son relativamente bajas. En particular, la corriente “Gas a ambiente” presenta un caudal aproximado de $6{,}7 \cdot 10^4$ kg/h, correspondiente a una corriente gaseosa altamente diluida.

Durante la etapa de diseño se evaluaron distintas tecnologías de depuración de gases, considerándose principalmente la oxidación térmica regenerativa (RTO) y la combinación de scrubber húmedo con tratamiento biológico aerobio.

La oxidación térmica regenerativa consiste en la destrucción térmica de compuestos orgánicos volátiles mediante combustión a temperaturas elevadas, generalmente comprendidas entre 750 y 850 °C. Aunque este sistema permite alcanzar eficiencias de eliminación muy elevadas, su aplicación resulta especialmente adecuada para corrientes con concentraciones relativamente altas de compuestos orgánicos y suficiente poder calorífico.

Sin embargo, en el caso de la planta proyectada, las corrientes gaseosas presentan una elevada dilución debido al gran contenido de aire y vapor de agua observado en la simulación HYSYS. Como consecuencia, el poder calorífico de la corriente resulta insuficiente para mantener una combustión autosostenida, siendo necesario un aporte continuo de combustible auxiliar, normalmente gas natural.

La utilización de un sistema RTO implicaría, por tanto, un elevado consumo energético y un incremento considerable de los costes operativos de la instalación. Asimismo, esta alternativa supondría un aumento indirecto de emisiones de dióxido de carbono asociadas a la combustión del combustible auxiliar.

Por otro lado, tanto el formaldehído como el metanol presentan una elevada solubilidad en agua y una buena biodegradabilidad, lo que convierte a la combinación de scrubber húmedo y tratamiento biológico en una alternativa especialmente adecuada para corrientes gaseosas diluidas como las generadas en el proceso FORMOX.

En la primera etapa, la corriente gaseosa se introduce en una torre de absorción o scrubber, donde entra en contacto con agua de proceso. Durante esta operación, el formaldehído y el metanol presentes en fase gaseosa son transferidos a la fase líquida gracias a su elevada afinidad por el agua. El metanol, además, es completamente miscible en agua, favoreciendo una elevada eficiencia de absorción y reduciendo significativamente la concentración de compuestos orgánicos volátiles emitidos a la atmósfera.

Tras el proceso de absorción, la corriente líquida generada contiene principalmente agua con pequeñas cantidades de formaldehído y metanol disueltos. Esta corriente se conduce posteriormente a una etapa de tratamiento biológico aerobio, donde microorganismos especializados degradan los compuestos orgánicos presentes utilizándolos como fuente de carbono y energía.

Las reacciones globales simplificadas de degradación biológica pueden representarse mediante las siguientes expresiones:

Metanol:

$$CH_3OH + \frac{3}{2}O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$$

Formaldehído:

$$CH_2O + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$$

Posteriormente, la corriente líquida procedente del scrubber se conduce a una etapa de tratamiento biológico aerobio, donde microorganismos especializados degradan los compuestos orgánicos presentes, transformándolos principalmente en dióxido de carbono, agua y biomasa.

Este tipo de tratamiento resulta especialmente adecuado para corrientes diluidas, permitiendo alcanzar elevados rendimientos de eliminación con un consumo energético significativamente inferior al requerido en sistemas de oxidación térmica.

Además, la combinación de scrubber y tratamiento biológico presenta diversas ventajas desde el punto de vista técnico, económico y ambiental:

- Menor consumo energético,
- Reducción del consumo de gas natural,
- Menores emisiones indirectas de CO_2,
- Elevada eficiencia para corrientes diluidas,
- Menores costes de operación y mantenimiento,
- Cumplimiento de las mejores técnicas disponibles (MTD/BAT) aplicables a la industria química orgánica.

El sistema seleccionado permite reducir significativamente las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV), favoreciendo el cumplimiento de los límites de emisión establecidos en la normativa ambiental aplicable y de las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) para instalaciones químicas.

6.4.3.4 Dimensionamiento del reactor biológico

Tras la etapa de absorción en el scrubber, la corriente gaseosa procedente del proceso Formox se transforma parcialmente en fase líquida, generando una corriente acuosa que contiene formaldehído y pequeñas cantidades de metanol disueltos. Debido a la elevada solubilidad y biodegradabilidad de estos compuestos, esta corriente puede ser tratada eficazmente mediante un proceso biológico aerobio.

A partir de los resultados obtenidos en la simulación mediante Aspen HYSYS, se observa que la corriente gaseosa a tratar presenta un caudal elevado, del orden de $6{,}7 \cdot 10^4$ kg/h. No obstante, este caudal corresponde fundamentalmente a aire y vapor de agua, que actúan como fase portadora de los contaminantes. Durante el proceso de absorción en el scrubber, los compuestos

orgánicos volátiles son transferidos a una corriente líquida que circula en un circuito de recirculación.

En este contexto, el sistema de absorción opera con un caudal interno de líquido relativamente elevado, tal como se observa en la corriente "Formol scrubber", lo que permite mejorar la eficiencia de transferencia de materia. Sin embargo, únicamente una fracción de esta corriente se purga de forma continua para evitar la acumulación de contaminantes en el sistema. Esta corriente de purga, identificada como "Agua Abs", presenta un caudal aproximado de 3000 kg/h (≈ 3 m^3/h), siendo esta la corriente que se alimenta al tratamiento biológico.

En consecuencia, el dimensionamiento del reactor biológico se realiza en base a este caudal líquido, ya que es en él donde se concentran los compuestos orgánicos tras la etapa de absorción, y no sobre el caudal gaseoso total del proceso.

En cuanto a la carga contaminante, la corriente líquida presenta una concentración moderada de formaldehído disuelto en agua. A efectos de cálculo, se considera una carga orgánica equivalente, expresada en términos de DQO, comprendida entre 500 y 1500 mg/L, valores característicos de efluentes procedentes de scrubbers en procesos químicos.

Dadas las características del efluente, principalmente su baja concentración y su elevada biodegradabilidad, se selecciona un reactor biológico aerobio de tipo tanque completamente agitado (CSTR). Este tipo de reactor permite asegurar una buena homogeneización del medio, facilitar el control de las condiciones operativas y mantener una elevada estabilidad del proceso.

El dimensionamiento del reactor se basa en la adopción de un tiempo de residencia hidráulico de 8 horas, valor que se encuentra dentro del rango habitual de operación en sistemas biológicos aerobios y que resulta adecuado para tratar compuestos fácilmente biodegradables como el metanol y el formaldehído. La elección de un tiempo de residencia relativamente reducido se justifica por la elevada velocidad de degradación de estos compuestos, lo que permite optimizar el tamaño del reactor sin comprometer la eficiencia del proceso.

El volumen del reactor se determina mediante la expresión:

$$V = Q \cdot TRH$$

Considerando un caudal de 3 m^3/h y un tiempo de residencia de 8 horas, se obtiene un volumen de 24 m^3. Por tanto, el reactor se diseña con un volumen comprendido entre 20 y 25 m^3.

Desde el punto de vista cinético, tanto el metanol como el formaldehído presentan una elevada biodegradabilidad en condiciones aerobias, con constantes de degradación típicas en el rango de 0,5 a 1,5 d^{-1}, lo que permite alcanzar elevados rendimientos de eliminación con tiempos de residencia moderados.

El reactor operaría en condiciones estándar de tratamiento biológico aerobio, manteniendo temperaturas entre 20 y 30 ºC, un pH cercano a la neutralidad y una concentración de oxígeno disuelto superior a 2 mg/L, garantizada mediante un sistema de aireación continua. Este sistema

constituye el principal consumo energético de la unidad, siendo significativamente inferior al requerido por tecnologías alternativas como la oxidación térmica.

En estas condiciones, es previsible alcanzar rendimientos de eliminación superiores al 90 % para el formaldehído y superiores al 95 % para el metanol, permitiendo cumplir con los límites de emisión de compuestos orgánicos volátiles establecidos por la normativa vigente mencionada en el apartado de bibliografía.

Dado el carácter moderado de la carga orgánica y la elevada capacidad calorífica del medio acuoso, no se considera necesario incorporar sistemas específicos de control térmico, como camisas de refrigeración o serpentines, ya que el proceso puede operar de forma estable en condiciones ambientales.

La corriente líquida generada tras el tratamiento biológico aerobio contiene principalmente agua, junto con biomasa en suspensión y trazas residuales de materia orgánica. Aunque el proceso biológico permite reducir significativamente la carga contaminante, este tipo de efluente requiere habitualmente etapas adicionales de tratamiento, como la separación sólido-líquido mediante decantación y un posible tratamiento de afinado para cumplir con los límites de vertido establecidos por la normativa vigente.

El reactor biológico no sustituye la gestión externa de residuos líquidos, sino que actúa como una etapa de pretratamiento destinada a reducir la concentración de formaldehído, metanol y otros compuestos biodegradables presentes en el efluente procedente del sistema de absorción. Esta reducción de la carga contaminante permite minimizar el impacto ambiental de la corriente generada, facilitar su gestión posterior y disminuir los costes asociados al tratamiento externo.

6.5 Otros contaminantes

Además de las emisiones atmosféricas y la generación de residuos sólidos y líquidos, la actividad industrial puede dar lugar a otros tipos de impactos ambientales de carácter físico, como la contaminación lumínica y la contaminación acústica. Estos factores, aunque no están directamente relacionados con el proceso químico de producción de formaldehído, deben ser considerados dentro del análisis ambiental global de la planta.

La identificación y control de estos contaminantes contribuye a mejorar la integración de la instalación en su entorno y a reducir posibles molestias sobre el medio ambiente y las zonas colindantes.

6.5.1 Contaminación lumínica

La contaminación lumínica se asocia a la emisión de luz artificial en intensidades, direcciones o periodos de tiempo inadecuados, generando alteraciones en el entorno natural y molestias en áreas próximas. En una planta industrial como la proyectada por Formics Industrial Chemical,

este tipo de contaminación puede derivarse principalmente de la iluminación exterior de las instalaciones y de las zonas de trabajo nocturno.

6.5.1.1 Márgenes legales

El control de la contaminación lumínica en instalaciones industriales está regulado por la normativa ambiental vigente, cuyo objetivo es limitar el impacto de la iluminación artificial sobre el entorno nocturno. En este sentido, las plantas químicas deben diseñar sus sistemas de iluminación teniendo en cuenta criterios de eficiencia energética, minimización de emisiones luminosas y reducción de molestias en zonas próximas.

Para determinar los límites aplicables, es necesario considerar la clasificación del entorno donde se ubica la instalación. En el caso de la planta proyectada, esta se encuentra en un entorno industrial que puede asimilarse a una zona de protección intermedia, donde se permite un cierto nivel de iluminación, pero siempre bajo condiciones controladas.

La normativa establece una serie de restricciones sobre características de las luminarias, niveles máximos de iluminación y flujo luminoso, así como sobre la dirección de la luz emitida. Estos requisitos tienen como finalidad evitar la dispersión innecesaria de luz hacia el cielo o hacia zonas no deseadas, reduciendo así la contaminación lumínica y el consumo energético.

A continuación, se recogen algunos de los parámetros más relevantes que deben cumplirse en el diseño del alumbrado de la planta:

Tabla 6.5.1. Límites aplicables a la iluminación exterior

Parámetro	Valor límite	Unidad
Porcentaje de flujo luminoso hacia el hemisferio superior (ULR)	≤ 5 %	%
Iluminación intrusiva en zonas sensibles (horario nocturno)	≤ 5	lux
Iluminación intrusiva en horario de tarde	≤ 10	lux
Intensidad luminosa máxima	≤ 10.000	cd
Luminancia máxima en alumbrado exterior industrial	≤ 800	cd/m²
Luminancia media en alumbrado exterior	≤ 5	cd/m²
Temperatura de color recomendada	≤ 3000	K

El cumplimiento de estos criterios permite reducir de forma significativa el impacto de la iluminación sobre el entorno, garantizando una actividad industrial compatible con la

protección del medio nocturno. Además, la aplicación de buenas prácticas en el diseño del alumbrado contribuye a mejorar la eficiencia energética de la instalación y a minimizar costes operativos a largo plazo.

6.5.1.2 Tratamiento

Para reducir el impacto de la iluminación artificial, la planta incorpora medidas orientadas a un uso racional de la iluminación, tales como:

- Uso de luminarias eficientes y de baja dispersión.
- Orientación de los puntos de luz hacia las zonas estrictamente necesarias.
- Limitación de la iluminación exterior durante periodos de inactividad.
- Integración de sistemas de control automático del encendido.

Estas medidas permiten reducir el impacto lumínico de la planta sin comprometer la seguridad operativa.

6.5.2 Contaminación acústica

La contaminación acústica en una instalación industrial se refiere al conjunto de ruidos generados durante su funcionamiento que pueden afectar tanto al entorno exterior como al interior de la planta. En el caso de una planta de producción de formaldehído, estas emisiones sonoras están principalmente asociadas al funcionamiento de equipos como compresores, bombas, ventiladores, sistemas de tratamiento de gases y otras unidades auxiliares del proceso.

Desde el punto de vista externo, el ruido puede generar molestias en zonas próximas a la instalación, especialmente si existen áreas habitadas o sensibles en el entorno. Por este motivo, es necesario controlar los niveles de emisión sonora para evitar impactos negativos sobre la población y el medio ambiente.

Por otro lado, también es importante considerar el ruido dentro de la propia planta, ya que niveles elevados pueden afectar a las condiciones de trabajo del personal, dificultar la comunicación y, en algunos casos, suponer un riesgo para la salud si no se aplican las medidas adecuadas de protección.

En conjunto, el control del ruido se plantea como un aspecto relevante dentro de la gestión ambiental y de seguridad de la instalación.

6.5.2.1 Márgenes legales

El control de la contaminación acústica en instalaciones industriales está regulado por la normativa vigente, que establece límites máximos de emisión sonora en función del tipo de zona y del periodo horario.

Considerando una ubicación en suelo industrial, los límites acústicos aplicables corresponden a los establecidos para zonas de sensibilidad acústica baja o moderada según la normativa autonómica correspondiente.

Los niveles de ruido se evalúan en función de distintos periodos horarios:

- Período diurno (Ld): de 7:00 a 19:00
- Período vespertino (Le): de 19:00 a 23:00
- Período nocturno (Ln): de 23:00 a 7:00

A continuación, se recogen los valores límite de inmisión sonora aplicables a zonas industriales:

Tabla 6.5.2. Límites de inmisión acústica en zonas industriales

Parámetro	Valor límite	Unidad
Nivel sonoro en período diurno (Ld)	70	dB(A)
Nivel sonoro en período vespertino (Le)	70	dB(A)
Nivel sonoro en período nocturno (Ln)	60	dB(A)

6.5.2.2 Tratamiento

El tratamiento de la contaminación acústica se basa en la adopción de soluciones técnicas destinadas a reducir la generación y propagación del ruido, entre las que se incluyen:

- Selección de equipos industriales con bajos niveles de emisión sonora.
- Instalación de elementos antivibratorios y aislamientos acústicos.
- Ubicación adecuada de los equipos más ruidosos dentro de la planta.
- Planificación de operaciones ruidosas en horarios adecuados.

Estas actuaciones permiten minimizar las emisiones acústicas de la instalación y garantizar una convivencia adecuada con el entorno.

6.6 Gestión externa

La gestión externa constituye una parte fundamental del control ambiental de la planta proyectada de Formics Industrial Chemical, ya que determinados aspectos asociados a la actividad industrial requieren la intervención de agentes externos especializados. Esta gestión complementa las actuaciones internas de la planta y permite garantizar el cumplimiento de la normativa ambiental vigente en aquellas fases que exceden el ámbito operativo de la instalación.

La gestión externa se centra principalmente en la retirada y tratamiento de residuos, así como en la supervisión de determinados impactos ambientales que deben ser controlados mediante servicios especializados, siempre bajo la responsabilidad del titular de la instalación.

6.6.1 Suministro de materias primas

El suministro de materias primas a la planta se realiza a través de empresas externas autorizadas, que garantizan el transporte y la entrega de productos químicos conforme a las condiciones de seguridad y protección ambiental establecidas. En el caso de materias primas como el metanol, se aplican procedimientos de descarga controlada para minimizar el riesgo de derrames, emisiones fugitivas o incidentes ambientales durante las operaciones logísticas.

La empresa establece requisitos ambientales básicos a los proveedores, orientados a asegurar que las operaciones de suministro se realicen de forma compatible con los objetivos de protección del medio ambiente definidos para la instalación.

6.6.2 Gestión externa de residuos

En la planta de producción de formaldehído, la gestión externa de los residuos constituye una etapa fundamental dentro del sistema de gestión ambiental, especialmente debido a la naturaleza potencialmente peligrosa de las corrientes generadas. Dado que muchos de estos residuos contienen compuestos como metanol, formaldehído u otras sustancias químicas, resulta necesario recurrir a gestores autorizados para su tratamiento adecuado.

Los residuos generados en la instalación incluyen tanto corrientes líquidas como sólidas procedentes de distintas operaciones del proceso, tales como limpiezas de equipos, purgas, mantenimiento o actividades de laboratorio. Entre los principales residuos que requieren gestión externa destacan:

- Corrientes líquidas con trazas de compuestos orgánicos (metanol y formaldehído).

- Residuos generados en laboratorio con posible carácter peligroso.
- Materiales contaminados procedentes de mantenimiento (filtros, absorbentes, equipos).
- Subproductos o corrientes residuales no reutilizables en el proceso.

Todos los residuos son identificados y clasificados en función de su origen y características, siguiendo los criterios establecidos en el Catálogo Europeo de Residuos (CER). Esta clasificación permite asignar a cada residuo un código específico que determina su tratamiento y facilita su correcta trazabilidad durante toda la cadena de gestión.

Dentro de la planta, los residuos se almacenan de forma temporal en zonas habilitadas, debidamente señalizadas y equipadas con sistemas de contención adecuados, como cubetos de retención y superficies impermeables. Asimismo, se adoptan medidas para evitar derrames, emisiones o mezclas incompatibles, garantizando condiciones seguras hasta su retirada.

La gestión externa se realiza mediante empresas gestoras autorizadas, encargadas tanto del transporte como del tratamiento final de los residuos. Estas operaciones se llevan a cabo conforme a la normativa vigente en materia de residuos, incluyendo la legislación sobre transporte de mercancías peligrosas cuando resulta de aplicación. Cada retirada queda documentada mediante los correspondientes documentos de control y seguimiento, asegurando la trazabilidad completa del residuo.

Los tratamientos aplicados a los residuos dependen de su naturaleza y pueden incluir:

- Valorización energética en el caso de residuos orgánicos.
- Tratamientos físico-químicos para efluentes líquidos.
- Procesos de inertización o estabilización para residuos sólidos peligrosos.

Adicionalmente, la empresa mantiene un registro actualizado de los residuos generados y gestionados, así como de las operaciones realizadas por los gestores externos. Este control permite evaluar el comportamiento ambiental de la instalación y asegurar el cumplimiento de las obligaciones legales.

Los residuos generados en la planta se clasifican de acuerdo con el Catálogo Europeo de Residuos (CER), en función de su origen y peligrosidad. En la Tabla 6.6.1 se presentan los principales tipos de residuos asociados a la instalación, junto con su correspondiente código y clasificación.

Tabla 6.6.1. Tipos de residuos y su clasificación

Código de gestión de residuos	Tipos de residuo	Clasificación
070101	Disoluciones acuosas que contienen sustancias peligrosas (metanol, formaldehído)	Peligroso
070108	Otros residuos de reacción o destilación con compuestos orgánicos peligrosos	Peligroso
150110	Envases contaminados con restos de sustancias peligrosas	Peligroso
150202	Absorbentes, trapos y materiales filtrantes contaminados	Peligroso
160506	Productos químicos de laboratorio peligrosos	Peligroso
160807	Catalizadores usados contaminados con sustancias peligrosas	Peligroso
170409	Metales contaminados procedentes de equipos y tuberías	Peligroso
200101	Papel y cartón	No peligroso
200102	Vidrio	No peligroso
200139	Plásticos	No peligroso
200301	Residuos urbanos mezclados (zonas comunes)	No peligroso

0701 / 07 → industria química orgánica

Para la correcta gestión de los residuos generados en la planta, se seleccionan gestores autorizados en función del tipo de residuo, su peligrosidad y su tratamiento requerido. En la Tabla 6.6.2 se muestran ejemplos de empresas gestoras externas y los tipos de residuos que pueden tratar.

Tabla 6.6.2. Empresas gestoras de residuos

Código gestor	Empresa gestora	Dirección	Códigos de residuos gestionados
E-1234.56	Tradebe Environmental Services, S.L.	Pol. Ind. Zona Franca, Barcelona	070101, 070108, 150110
E-2345.67	Veolia Servicios Medioambientales, S.A.U.	Sant Cugat del Vallès, Barcelona	150202, 160506, 160807
E-3456.78	FCC Ámbito, S.A.	Pol. Ind. Can Roca, Terrassa	170409, 150110
E-4567.89	Urbaser, S.A.	Zona Metropolitana de Barcelona	200101, 200102, 200139, 200301

6.6.3 Impactos ambientales y medidas asociadas

La externalización de determinadas operaciones, como la gestión de residuos, conlleva una serie de impactos ambientales potenciales, principalmente asociados al transporte y al tratamiento externo. Para minimizar estos impactos, se prioriza la contratación de gestores ubicados a una distancia razonable de la planta y que dispongan de instalaciones adecuadas para el tratamiento de los residuos generados.

Asimismo, se adoptan medidas preventivas orientadas a:

- Reducir la frecuencia de retirada de residuos mediante una adecuada planificación.
- Garantizar la correcta segregación de residuos en origen.
- Minimizar el riesgo de incidentes durante las operaciones de carga y descarga.

La correcta gestión externa, combinada con las medidas internas de control, permite reducir de forma significativa el impacto ambiental global de la actividad de Formics Industrial Chemical y asegurar una explotación industrial compatible con los principios de sostenibilidad y responsabilidad ambiental.

6.7 Matriz de Leopold

La matriz de Leopold es una herramienta de evaluación ambiental utilizada para identificar y valorar los posibles impactos derivados de una actividad industrial sobre el medio ambiente. Este método permite relacionar las distintas acciones del proceso productivo con los factores

ambientales potencialmente afectados, facilitando así una evaluación global del impacto ambiental de la instalación.

En el caso de la planta de producción de formaldehído mediante el proceso FORMOX, la matriz de Leopold se emplea con el objetivo de analizar los efectos ambientales asociados a las diferentes etapas del proceso, incluyendo el almacenamiento de materias primas, la reacción química, las operaciones de separación y absorción, la gestión de residuos y el transporte interno de sustancias químicas.

La evaluación se realiza considerando dos parámetros principales:

- Magnitud del impacto, que representa la intensidad o grado de alteración producido sobre el medio.
- Importancia del impacto, relacionada con la relevancia ambiental del efecto generado.

Los impactos identificados pueden ser positivos o negativos, aunque en instalaciones de la industria química predominan principalmente los impactos ambientales negativos asociados a emisiones atmosféricas, generación de residuos y riesgos de contaminación accidental.

Para la elaboración de la matriz se han considerado los siguientes factores ambientales:

- Calidad del aire.
- Calidad del agua.
- Contaminación del suelo.
- Generación de residuos.
- Consumo energético.
- Ruido industrial.
- Riesgo ambiental asociado a fugas o derrames.

Asimismo, las principales acciones evaluadas dentro de la planta son:

- Almacenamiento y manipulación de metanol.
- Reacción catalítica FORMOX.
- Absorción y recuperación de formaldehído.
- Operaciones de mantenimiento.
- Gestión de residuos sólidos y líquidos.
- Transporte interno de sustancias peligrosas.

6.7.1 Criterios de valoración

La valoración de cada impacto se ha realizado mediante una escala comprendida entre:

- Magnitud (arriba izquierda): intensidad del impacto generado, en una escala entre −10 y +10.
- Importancia (abajo derecha): relevancia ambiental del impacto, en una escala entre 1 y 10.

−10 → Impacto negativo muy elevado.

0 → Impacto nulo o despreciable.

+10 → Impacto positivo muy elevado.

Los valores asignados se han determinado considerando:

- Toxicidad de las sustancias implicadas.
- Cantidad de emisiones generadas.
- Probabilidad de contaminación accidental.
- Consumo energético asociado al proceso.
- Persistencia del impacto sobre el medio.
- Capacidad de recuperación del entorno.

Las puntuaciones más elevadas corresponden a aquellas operaciones con mayor riesgo ambiental o potencial contaminante.

El valor final del impacto ponderado se obtiene mediante el producto entre magnitud e importancia.

Impacto ponderado = Magnitud × Importancia

Los valores negativos representan impactos perjudiciales sobre el medio ambiente, mientras que los positivos corresponden a efectos beneficiosos derivados de medidas de recuperación, eficiencia o reducción de emisiones.

Los valores asignados en la matriz de Leopold se han determinado siguiendo criterios técnicos utilizados habitualmente en estudios de evaluación de impacto ambiental. Para ello, se han considerado aspectos como la toxicidad de las sustancias utilizadas, la magnitud de las emisiones generadas, el riesgo de contaminación accidental, el consumo energético del proceso y la sensibilidad de los factores ambientales afectados.

La asignación de magnitudes e importancias se ha realizado tomando como referencia metodologías descritas en bibliografía especializada sobre evaluación de impacto ambiental,

especialmente las propuestas por Gómez Orea y Conesa Fernández-Vítora, ampliamente utilizadas en proyectos industriales y estudios ambientales.

En la siguiente tabla se presenta la matriz de Leopold correspondiente a la planta de producción de formaldehído mediante el proceso FORMOX. En ella se muestran las interacciones entre las principales acciones del proceso y los factores ambientales afectados, así como la valoración de la magnitud e importancia de cada impacto identificado.

Tabla 6.7.1. Matriz de Leopold de la planta FORMOX

Factor ambiental	Emisiones COV	Aguas residuales	Almacenamiento metanol	Gestión residuos peligrosos	Consumo energético	Reactor FORMOX	Transport e interno	Riesgo químico	Recuperación energética	Tratamiento gases
Aire	-8 / 9	0 / 0	-5 / 7	-2 / 4	-3 / 5	-7 / 8	-2 / 3	-8 / 9	+2 / 4	+4 / 6
Agua	-2 / 4	-7 / 8	-3 / 5	-5 / 7	0 / 0	-2 / 4	-1 / 2	-5 / 7	0 / 0	+2 / 3
Suelo	-1 / 3	-3 / 5	-6 / 8	-6 / 8	0 / 0	-1 / 2	-2 / 4	-7 / 9	0 / 0	+1 / 2
Fauna	-3 / 5	-2 / 4	-2 / 3	-3 / 5	-1 / 2	-2 / 3	-1 / 2	-4 / 6	0 / 0	+1 / 2
Flora	-3 / 5	-2 / 4	-2 / 3	-3 / 5	-1 / 2	-2 / 3	-1 / 2	-4 / 6	0 / 0	+1 / 2
Paisaje	-1 / 2	0 / 0	-1 / 2	-1 / 2	-2 / 3	-2 / 3	-2 / 3	-2 / 4	0 / 0	+1 / 2
Salud humana	-8 / 10	-4 / 6	-7 / 9	-5 / 8	-2 / 3	-7 / 9	-3 / 5	-9 / 10	+1 / 2	+4 / 7
Recursos naturales	-3 / 5	-2 / 4	-2 / 4	-3 / 5	-7 / 9	-5 / 7	-2 / 4	-2 / 3	+5 / 8	+4 / 6

En la siguiente tabla se muestran los totales calculados de la matriz de Leopold para cada una de las acciones desarrolladas en la planta de producción de formaldehído mediante el proceso FORMOX.

Tabla 6.7.2. Totales calculados de la matriz de Leopold por acciones de la planta

	Emisiones COV	Aguas residuales	Almacenamiento metanol	Gestión residuos peligrosos	Consumo energético	Reactor FORMOX	Transporte interno	Riesgo químico	Recuperación energética	Tratamiento gases
Afectaciones positivas	0	0	0	0	0	0	0	0	3	8
Afectaciones negativas	8	7	8	8	7	8	8	8	0	0
Impacto por acciones ponderado	−210	−127	−183	−178	−94	−182	−49	−322	+54	+90

Una vez realizada la matriz de Leopold y calculados los impactos ponderados asociados a cada acción del proceso y a cada factor ambiental, se obtiene un impacto ambiental global de −1201. Este resultado indica que la actividad desarrollada en la planta de producción de formaldehído mediante el proceso FORMOX genera un impacto ambiental negativo significativo, algo habitual en instalaciones pertenecientes a la industria química debido al uso de sustancias peligrosas, elevadas temperaturas de operación y generación de emisiones y residuos.

Analizando los resultados obtenidos, puede observarse que el impacto ambiental más elevado corresponde al apartado de riesgo químico, con un valor ponderado total de −322. Este elevado impacto se debe principalmente a la peligrosidad de las sustancias manipuladas durante el proceso, especialmente el metanol y el formaldehído. Ambas sustancias presentan características inflamables y tóxicas, además de una elevada volatilidad, lo que incrementa considerablemente el riesgo asociado a fugas, derrames o incendios dentro de la instalación. Asimismo, la presencia de equipos operando a temperaturas elevadas y el almacenamiento de grandes volúmenes de sustancias químicas aumentan la importancia de este factor dentro de la evaluación ambiental.

El segundo impacto más importante corresponde a las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV), con un valor de −210. Este resultado está relacionado con la emisión de vapores de metanol y formaldehído durante diferentes etapas del proceso productivo, especialmente en la reacción catalítica FORMOX y en las operaciones de almacenamiento y transferencia de productos. Estas emisiones afectan principalmente a la calidad del aire y a la salud humana, ya que el formaldehído está clasificado como una sustancia tóxica e irritante. Además, los COV contribuyen a la formación de contaminación atmosférica y pueden generar efectos negativos sobre el entorno si no se aplican sistemas adecuados de control y tratamiento.

El almacenamiento de metanol presenta también un impacto relevante, con un valor ponderado de −183. Este impacto se debe a la elevada inflamabilidad del metanol y a la posibilidad de contaminación del suelo y de las aguas en caso de fuga accidental. Aunque la planta dispone de cubetos de retención y sistemas de seguridad, el almacenamiento de grandes cantidades de sustancias peligrosas supone siempre un riesgo ambiental importante que debe ser controlado mediante inspecciones y medidas preventivas.

Por otra parte, la gestión de residuos peligrosos obtiene un impacto ponderado de −178. Durante el funcionamiento de la planta se generan diferentes corrientes residuales, como residuos contaminados con formaldehído, filtros, materiales absorbentes y aguas residuales procedentes de limpiezas y operaciones de mantenimiento. Estos residuos requieren una gestión específica mediante empresas autorizadas, ya que una manipulación incorrecta podría producir contaminación del suelo y de las aguas subterráneas.

El reactor FORMOX presenta un impacto total de −182, asociado principalmente al consumo energético y a las emisiones generadas durante la oxidación catalítica del metanol. El reactor opera a temperaturas relativamente elevadas, lo que implica un importante consumo de energía térmica y eléctrica. Además, aunque el rendimiento del proceso es elevado, pueden generarse

pequeñas cantidades de subproductos y emisiones residuales que afectan negativamente al medio ambiente.

En cuanto al consumo energético, el impacto obtenido es de −94. Este valor está relacionado con la demanda energética de equipos como reactores, bombas, compresores y sistemas de refrigeración. Aunque no representa el impacto más elevado de la matriz, el consumo de energía contribuye indirectamente a las emisiones globales de gases de efecto invernadero y al agotamiento de recursos naturales.

El apartado correspondiente al transporte interno presenta un impacto menor, con un valor de −49. Este impacto está relacionado principalmente con el ruido industrial, el consumo de combustible y el riesgo moderado de accidentes durante el movimiento interno de materias primas y residuos dentro de la planta.

A pesar de los impactos negativos identificados, la matriz también refleja determinados impactos positivos asociados a las medidas ambientales incorporadas en el diseño de la instalación. La recuperación energética presenta un valor positivo de +54, debido al aprovechamiento del calor generado durante el proceso para reducir el consumo energético global de la planta. Esta medida mejora la eficiencia energética y disminuye parcialmente el impacto ambiental asociado al consumo de recursos.

Asimismo, el tratamiento de gases obtiene un impacto positivo de +90, siendo uno de los aspectos ambientales más favorables del proyecto. La incorporación de sistemas de absorción, filtrado y control de emisiones permite reducir significativamente la liberación de contaminantes atmosféricos, especialmente formaldehído y metanol. Gracias a estas tecnologías, se consigue minimizar el impacto sobre la calidad del aire y garantizar el cumplimiento de los límites establecidos por la normativa ambiental vigente.

En relación con los factores ambientales afectados, la salud humana es el elemento más sensible dentro de la evaluación realizada. Esto se debe a la toxicidad de las sustancias empleadas y a la posible exposición a vapores o fugas químicas. Del mismo modo, la calidad del aire y el suelo presentan impactos elevados debido a las emisiones atmosféricas y al riesgo de contaminación accidental.

6.8 Bibliografía

[1] BOE-A-2003-1835. *Real Decreto 117/2003 sobre limitación de emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) debidas al uso de disolventes en determinadas actividades*. Boe.es. Recuperado el 12 de mayo de 2026, de https://www.boe.es/eli/es/rd/2003/01/31/117

[2] BOE-A-2007-18517. Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental. Boe.es. Recuperado el 10 de mayo de 2026, de https://www.boe.es/eli/es/l/2007/10/23/26

[3] BOE-A-2008-18646. Real Decreto 1890/2008 de alumbrado exterior. Boe.es. Recuperado el 10 de mayo de 2026, de https://www.boe.es

[4] BOE-A-2013-10409. Real Decreto 815/2013, de 18 de octubre, Reglamento de emisiones industriales. Boe.es. Recuperado el 10 de mayo de 2026, de https://www.boe.es/eli/es/rd/2013/10/18/815

[5] BOE-A-2017-7097. Real Decreto 656/2017 sobre almacenamiento de productos químicos (APQ). Boe.es. Recuperado el 10 de mayo de 2026, de https://www.boe.es/eli/es/rd/2017/06/23/656

[6] BOE-A-2022-5809. Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados. Boe.es. Recuperado el 10 de mayo de 2026, de https://www.boe.es/eli/es/l/2022/04/08/7

[7] Conesa Fernández-Vítora, V. (2010). Guía metodológica para la evaluación de impacto ambiental. Ediciones Mundi-Prensa.

[8] Decisión 2000/532/CE. Catálogo Europeo de Residuos (CER). EUR-Lex. Recuperado el 10 de mayo de 2026, de https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:32000D0532

[9] Decreto 176/2009. Contaminación acústica en Cataluña. Recuperado el 10 de mayo de 2026, de https://portaljuridic.gencat.cat

[10] Decreto 190/2015. Contaminación lumínica en Cataluña. Recuperado el 10 de mayo de 2026, de https://mediambient.gencat.cat

[11] Directiva 2010/75/UE sobre emisiones industriales. EUR-Lex. Recuperado el 10 de mayo de 2026, de https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:32010L0075

[12] DOGC-A-2009-17152. Llei 20/2009 de prevenció i control ambiental de les activitats. Generalitat de Catalunya. Recuperado el 10 de mayo de 2026, de https://portaljuridic.gencat.cat/eli/es-ct/l/2009/12/04/20

[13] European Commission. Best Available Techniques (BREF Documents). Recuperado el 10 de mayo de 2026, de https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/

[14] European Commission. (2017). *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Large Volume Organic Chemicals*. Publications Office of the European Union. Recuperado el 12 de mayo de 2026, de https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference

[15] European Commission. Industrial Emissions Directive (IED). Recuperado el 16 de mayo de 2026, de https://environment.ec.europa.eu

[16] Gobierno de Canarias. (s.f.). *Más información sobre residuos*. Consejería de Transición Ecológica y Energía.
https://www.gobiernodecanarias.org/medioambiente/materias/residuos/mas-informacion

[17] Gómez Orea, D. (2003). Evaluación de Impacto Ambiental. Ediciones Mundi-Prensa.

[18] Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). (2024). *Límites de exposición profesional para agentes químicos en España*. INSST. Recuperado el 12 de mayo de 2026, de https://www.insst.es

[19] International Agency for Research on Cancer (IARC). (2012). *Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tert-Butoxypropan-2-ol*. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 88. Recuperado el 12 de mayo de 2026, de https://monographs.iarc.who.int/

[20] ISO 14001:2015. Environmental management systems. International Organization for Standardization.

[21] Ley 37/2003, del Ruido. Boe.es. Recuperado el 10 de mayo de 2026, de https://www.boe.es

[22] Metcalf & Eddy. *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*. McGraw-Hill.

[23] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Evaluación de impacto ambiental. Recuperado el 16 de mayo de 2026, de https://www.miteco.gob.es

[24] Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2010). *Directiva 2010/75/UE sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación)*. EUR-Lex. Recuperado el 12 de mayo de 2026, de https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:32010L0075

[25] Perry, R. H., & Green, D. Perry's Chemical Engineers' Handbook.

[26] Real Decreto 1367/2007. Desarrollo de la Ley del Ruido. Boe.es. Recuperado el 10 de mayo de 2026, de https://www.boe.es

[27] Reglamento (CE) nº 1221/2009 (EMAS). EUR-Lex. Recuperado el 10 de mayo de 2026, de https://eur-lex.europa.eu

[28] Reglamento (CE) nº 1272/2008 (CLP). EUR-Lex. Recuperado el 10 de mayo de 2026, de https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:32008R1272

[29] Towler, G., & Sinnott, R. Chemical Engineering Design. Elsevier.

[30] U.S. Environmental Protection Agency (EPA). *Biological Treatment of Hazardous Waste*. Recuperado el 12 de mayo de 2026, de https://www.epa.gov/

[31] Wastewater Calculators. *Hydraulic Retention Time (HRT) ranges*. Recuperado el 29 de mayo de 2026, de https://wastewatercalculators.com