

UAB

Universitat Autònoma
de Barcelona



METAFORM

DE METANOL A FORMOL | INNOVACIÓN QUÍMICA

Planta de Producció de Formaldehid

Treball de Fi de Grau

Juny 2026

AUTORES

Arcadi Baró Orfila
Guillem Casals Sendra
Roc Rossello Fonollosa
Sandro Alcantara Márquez
Javier Jaenes Fernández
Àlex Cabrera Sánchez

TUTOR

Rafa Bosch Palacios



UAB

Universitat Autònoma
de Barcelona



METAFORM

DE METANOL A FORMOL | INNOVACIÓN QUÍMICA

Planta de Producció de Formaldehid

Treball de Fi de Grau

Juny 2026

CAPÍTOL 6.
MEDI AMBIENT

Taula de Continguts

6.1. Introducció i objectius	1
6.1.1. Objectius del capítol.....	1
6.2. Marc normatiu i instruments d'intervenció	3
6.2.1. Legislació aplicable (Europea, Estatal i Autònica)	3
6.2.2. Autorització Ambiental Integrada (AAI)	4
6.2.2.1. Documentació necessària per a la sol·licitud.....	4
6.2.3. Millors Tècniques Disponibles (MTD)	5
6.3. Sistema de Gestió Ambiental (SGA)	10
6.3.1. Política ambiental de la planta.	10
6.3.2. Normativa ISO 14001 i Registre EMAS.	10
6.3.3. Programa "Responsible Care"	11
6.4. Gestió d'emissions atmosfèriques (Residus gasosos).....	13
6.4.1. Identificació de focus d'emissió	13
6.4.2. Tractament proposat	14
6.4.3. Marges legals i control d'emissions.....	14
6.5. Gestió d'aigües residuals (Residus líquids).....	15
6.5.1. Identificació i caracterització dels corrents residuals líquids	15
6.5.2. Sistema de recollida, sumiders i xarxa separativa.....	15
6.5.3. Punt d'abocament i compliment normatiu.....	15
6.6. Gestió de residus sòlids	17
6.6.1. Residus perillosos	17
6.6.2. Residus no perillosos.....	17
6.6.3. Gestió externa i transport	18
6.7. Gestió de l'eficiència energètica i energies renovables.....	19
6.7.1. Finalitat ambiental i integració en el Sistema de Gestió Energètica.....	19
6.7.2. Reducció del consum i afectació sobre l'empremta de carboni.....	19
6.7.3. Arquitectura d'emmagatzematge i viabilitat econòmica preliminar.....	19
6.8. Altres impactes ambientals	21
6.8.1. Contaminació acústica	21

6.8.2. Contaminació lumínica	22
6.8.3. Emissió d'olors i vectors de contaminació	23
Control d'olors	23
Control de vectors	23
6.9. Avaluació de l'impacte ambiental (Matriu de Leopold)	25
6.9.1. Metodologia de la Matriu de Leopold: Identificació i valoració de les interaccions entre l'activitat industrial i els factors ambientals.	25
6.9.2. Resultats i interpretació.	27
6.10. Millora contínua i valorització.....	34
6.10.1. Valorització de subproductes i energia.	34
6.10.2. Propostes de minimització de l'impacte.	35
6.10.3. Conclusions de viabilitat ambiental i limitacions de l'estudi.....	36
6.11. Bibliografia	37

6.1. Introducció i objectius

El medi ambient, des d'una perspectiva tècnica i industrial, es defineix com el conjunt de components físics, químics i biològics que interactuen amb l'activitat humana. En el sector químic, la producció a gran escala exigeix un compromís ferm amb el desenvolupament sostenible, integrant la preservació de l'entorn com un instrument de competitivitat i responsabilitat social.

La planta objecte d'aquest projecte, dedicada a la fabricació de 100.000 Tm/any de formaldehid i ubicada al Polígon Industrial "Satel·lits" de Tarragona, opera en un context altament regulat a causa de la naturalesa de les substàncies manipulades. Per aquest motiu, el disseny de la instal·lació no només ha de garantir la seguretat operativa, sinó que ha de minimitzar qualsevol alteració nociva dels sistemes naturals mitjançant l'aplicació de mesures de prevenció i control integrat.

Aquest capítol s'estructura per analitzar de forma exhaustiva la interacció de la planta amb el seu entorn durant els 330 dies d'operació anual. L'enfocament es basa en la jerarquia de prioritats ambientals: prevenir la generació d'efluents, minimitzar el consum de recursos naturals i assegurar que qualsevol emissió final compleixi estrictament amb els paràmetres legals vigents.

6.1.1. Objectius del capítol

L'objectiu central és definir una estratègia de gestió ambiental integral per a la planta, desglossada en els següents punts específics:

- **Definir el marc normatiu aplicable:** Identificar la legislació europea, estatal i autonòmica que regula l'activitat industrial a Tarragona.
- **Inventariar els vectors ambientals:** Classificar els focus d'emissió potencials segons el seu estat físic (gasosos, líquids i sòlids) per a la seva gestió posterior.
- **Implementar sistemes de gestió:** Establir les bases per a un Sistema de Gestió Ambiental (SGA) que promogui la millora contínua de l'acompliment ambiental de l'empresa.
- **Avaluar l'impacte real:** Utilitzar eines de valoració científica, com la Matriu de Leopold, per identificar i quantificar les interaccions entre les accions de la planta i els factors ambientals del territori.

- **Acompliment de les Millors Tècniques Disponibles (MTD):** Garantir que el disseny de la planta s'ajusta als estàndards de sostenibilitat més avançats del sector químic.

6.2. Marc normatiu i instruments d'intervenció

La indústria química està sotmesa a una regulació estricta pel seu potencial impacte ambiental. Per a la planta de formaldehid, el disseny i l'operativa han de complir amb un marc legal multinivell que garanteix la protecció de l'entorn i la salut humana.

6.2.1. Legislació aplicable (Europea, Estatal i Autonòmica)

La selecció de la normativa s'ha realitzat considerant la naturalesa de l'activitat industrial i les substàncies perilloses manipulades.

- **Àmbit Europeu:**
 - **Directiva 2010/75/UE sobre emissions industrials (DEI):** Obliga a la prevenció i control integrats de la contaminació i a l'ús de les Millors Tècniques Disponibles (MTD) [1].
 - **Directiva 2012/18/UE (SEVESO III):** Aplicable per l'emmagatzematge i manipulació de grans volums de metanol i formaldehid, exigint controls de riscos d'accidents greus [2].
 - **Reglament REACH (CE 1907/2006):** Regula el registre, l'avaluació i l'autorització de les substàncies químiques [3].
 - **Directiva 2008/98/CE sobre residus:** Estableix el marc per a la gestió responsable dels subproductes [11].
- **Àmbit Estatal (Espanya):**
 - **Llei 21/2013 d'Avaluació Ambiental:** Exigeix avaluar els impactes potencials del projecte sobre el medi abans de la seva execució [4].
 - **Llei 7/2022 de residus i sòls contaminats per a una economia circular:** Regula la gestió de tots els corrents residuals, prioritzant la valorització sobre l'eliminació [5].
 - **Llei 34/2007 de qualitat de l'aire:** Estableix els límits d'emissió per als focus de combustió i procés [6].

- **Reial Decret 815/2013:** Desenvolupa el sistema de prevenció i control integrats de la contaminació [1] [6].
- **Àmbit Autonòmic (Catalunya):**
 - **Llei 20/2009 de prevenció i control ambiental de les activitats (PCAA):** És el pilar de la gestió ambiental a Catalunya, regulant les llicències i autoritzacions necessàries segons el grau d'incidència ambiental [7].

6.2.2. Autorització Ambiental Integrada (AAI)

L'AAI és la resolució administrativa vinculant que permet l'explotació d'una instal·lació industrial sota condicions específiques per controlar la contaminació. Atesa la capacitat de producció de 100.000 Tm/any, la planta s'inclou en l'Annex I de la Llei 20/2009 (instal·lacions químiques per a la fabricació de productes químics orgànics de base).

Aquesta autorització s'ha de tramitar davant l'Oficina de Gestió Ambiental Unificada (OGAU) de la Generalitat de Catalunya. L'AAI unifica en un sol procediment:

- L'autorització d'emissions a l'atmosfera.
- L'autorització d'abocament d'aigües residuals a la xarxa del polígon (en coordinació amb l'ACA).
- La llicència ambiental municipal de Tarragona.
- El control de riscos industrials i la gestió de residus.

6.2.2.1. Documentació necessària per a la sol·licitud

Per a la tramitació de l'Autorització Ambiental Integrada (AAI) davant l'OGAU, i en estricte compliment de la Llei 20/2009, és necessari presentar un expedient administratiu i tècnic complet que inclogui els següents blocs documentals:

- **Projecte bàsic ambiental:** Document tècnic que descriu de forma exhaustiva l'activitat, les unitats de procés i les instal·lacions auxiliars. S'hi detallen els diagrames de flux, el funcionament de les unitats de reacció i separació, i la previsió de consum de recursos com l'aigua de xarxa, el gas natural i l'energia elèctrica necessària per a l'operativa de la planta.
- **Estudi d'Impacte Ambiental (EIA):** D'acord amb la Llei 21/2013, aquest estudi identifica i valora les possibles alteracions que la producció de formaldehid pot generar sobre els vectors ambientals de l'entorn de Tarragona. També proposa les mesures correctores per mitigar aquests efectes i estableix el Programa de Vigilància Ambiental (PVA).

- **Informe base sobre l'estat de l'emplaçament:** A causa de la manipulació de substàncies químiques, cal aportar una caracterització prèvia del sòl i de les aigües subterrànies de la parcel·la. Aquest informe serveix per determinar l'estat ambiental de partida abans de l'inici de l'activitat industrial i així evitar futures controvèrsies sobre la responsabilitat en cas de contaminació del subsòl.
- **Informe de compatibilitat urbanística:** Certificat oficial expedit per l'Ajuntament de Tarragona que acredita que el projecte s'ajusta al planejament urbanístic vigent i que l'activitat és compatible amb els usos permesos al Polígon Industrial "Satel·lits".
- **Documentació sectorial d'abocaments:** Caracterització tècnica dels efluentes líquids previstos i detall del sistema de connexió a la xarxa de clavegueram del polígon. S'ha de garantir que la qualitat de les aigües de procés i neteja s'ajusta als paràmetres d'admissió establerts per l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA).
- **Pla d'emergència i autoprotecció:** Document que identifica els possibles escenaris de risc accidental i defineix els protocols d'actuació, els sistemes de control i la coordinació necessària amb els serveis d'emergència externs.
- **Resum no tècnic:** Una síntesi de tot l'expedient redactada en un llenguatge accessible, requerida per facilitar la comprensió del projecte per part del públic en general durant el període d'informació pública de l'AAI.

6.2.3. Millors Tècniques Disponibles (MTD)

El disseny de la planta es basa en el principi de les MTD, que són les tecnologies més eficaces per prevenir o reduir les emissions, essent tècnicament viables i econòmicament assumibles pel sector.

L'aplicació de les MTD es verifica mitjançant els documents BREF (*Best Available Techniques Reference Documents*) elaborats per la Unió Europea [8] [9]. Per a aquesta instal·lació, els documents de referència principals són:

- **BREF LVOC** (*Large Volume Organic Chemicals*): Per a la producció a gran escala de químics orgànics [8].
- **BREF WGC** (*Waste Gas Treatment in the Chemical Sector*): Per al disseny eficient del cremador de gasos de caps [9].

L'ús d'aquestes tècniques assegura una millor eficiència de recursos, una reducció dels consums energètics i la minimització dels riscos ambientals.

Taula 1. Resum de l'aplicació de les MTD a la planta.

Àmbit ambiental	MTD aplicable	Aplicació concreta a la planta METAFORM	Objectiu ambiental
Gestió ambiental integrada	Implementació d'un Sistema de Gestió Ambiental (SGA) i programes sectorials sector de l'alta química.	Disseny del SGA sota les directrius de les normes ISO 14001, el reglament europeu EMAS i el programa Responsible Care.	Millora contínua de l'exercici ambiental, auditoria de processos i traçabilitat del teixit industrial.
Emissions atmosfèriques i COV	Minimització d'emissions de compostos orgànics volàtils i contaminants traça del metanol/formaldehid.	Conducció centralitzada d'efluents gasosos cap a una unitat d'oxidació catalítica integrada al procés.	Reducció dràstica de l'emissió de tòxics a l'atmosfera a valors sub-legals.
Gasos de cua	Tractament final d'alta eficiència per als gasos inerts de procés no condensables.	Destrucció tèrmico-catalítica dels corrents sortints de la columna d'absorció amb un rendiment del 99,9%.	Transformació química de traces de CH ₃ OH, HCHO i CO en CO ₂ i H ₂ O.
Emissions difuses i fugitives	Control de fugues en elements crítics de tancs, brides, vàlvules i línies calentes de transport.	Inertització permanent amb nitrogen (N ₂) en tancs, canalització de venteigs i ús d'acer inoxidable AISI 316L en línies d'alta temperatura.	Evitar pèrdues de matèria primera i prevenir la formació d'atmosferes explosives (ATEX).
Aigües residuals i abocaments	Segregació de corrents, minimització de cabals contaminants i control en continu d'efluents líquids.	Xarxa separativa de drenatges, basses de pluvials amb control de qualitat previ i arqueta de registre final abans del col·lector.	Prevenir la contaminació dels ecosistemes aquàtics receptors i abocaments fora de ranci de pH/conductivitat.
Consum d'aigua	Reducció de l'ús de recurs hídric fresc de xarxa mitjançant recirculació o integració.	Procés d'efluent líquid zero (Zero Liquid Discharge) en aigua de procés, ja que l'aigua d'absorció s'incorpora com a part del producte al 37%.	Optimització hidrològica extrema i eliminació del corrent d'aigües de procés cap a depuradora externa.

Residus sòlids i perillous	Classificació en origen, emmagatzematge segur, traçabilitat legal i foment de la valorització.	Ús de codis LER, àrea de magatzem tancada, bidons homologats, etiquetatge CLP, transport ADR, registre davant l'ARC i contracte buy-back per a la recuperació del molibdè del catalitzador gastat.	Minimització del rebuig en abocador i reintroducció de metalls rars en l'economia circular.
Eficiència energètica	Optimització i recuperació dels excedents tèrmics del procés químic.	Implementació de la norma ISO 50001, aprofitant l'alta exotermicitat de la reacció catalítica Formox per al balanç energètic global.	Reducció del consum de combustibles fòssils externs i disminució de l'empremta de carboni.
Soroll	Esmorteïment de la pressió acústica dels equips dinàmics industrials en l'entorn de treball.	Encapsulament de bufadors d'aire, muntatge sobre silentblocks, ús de silenciadors mecànics, selecció d'equips de baix soroll i calorifugat amb llana de roca.	Compliment dels límits d'immissió sonora diürna/nocturna de la normativa de zones industrials.
Contaminació lumínica	Minimització de l'impacte lumínic nocturn i dispersió cap a la volta celeste.	Instal·lació de lluminàries tipus LED de baixa temperatura (< 3000 K), flux cap a l'hemisferi superior nul (FHSinst =0,0%) i reducció del flux automatitzat.	Preservació de la foscor de l'entorn nocturn i reducció del consum elèctric d'enllumenat exterior.
Olors	Evitar l'impacte odorífer molest de compostos volàtils irritants en àrees confrontants.	Disseny de circuits totalment hermètics, recollida de vapors en operacions de càrrega i tractament final en l'oxidació catalítica.	Garantir la salubritat i el confort ambiental dels operaris de la planta i indústries veïnes.
Vectors de contaminació	Prevenició de focus de proliferació de plagues i vectors biològics de manera natural.	Pavimentació impermeable de formigó, xarxa de drenatges sense estancaments, contenidors tancats de rebuig urbà i integració del programa periòdic DDD.	Manteniment de les condicions higièniques i sanitàries en tot el perímetre industrial de la instal·lació.
Contaminació del sòl i vessaments	Barreres físiques de seguretat per evitar la infiltració de substàncies químiques líquides perilloses.	Soleres impermeabilitzades de formigó amb pendents cap a sumiderstancats i disseny de cubets de retenció d'acord amb la ITC MIE APQ-1.	Protecció de la matriu geològica i dels aqüífers subterranis davant pèrdues de metanol o formol.

Risc ambiental i emergències	Eines d'avaluació proactiva de riscos i disseny de respostes estructurades davant crisis.	Desenvolupament de l'anàlisi de vectors crítics (aire, sòl, aigua, energia, risc) mitjançant la Matriu de Leopold i sistemes actius de protecció.	Minimització de la freqüència i les conseqüències d'accidents greus industrials amb afectació externa.
Eficiència energètica	Optimització energètica, reducció de l'ús d'electricitat fòssil i generació renovable <i>in situ</i> .	Implementació de la norma ISO 50001 acoblada a una planta solar fotovoltaica en terreny pla de 7.500 m ² i d'emmagatzematge amb bateries.	Reducció del consum net de xarxa elèctrica i minimització de les emissions indirectes de GEH (Abast 2).

6.3. Sistema de Gestió Ambiental (SGA)

Els sistemes de gestió ambiental (SGA) són estructures organitzatives que inclouen processos, responsabilitats i procediments implementats per garantir que totes les activitats industrials de la planta es realitzin de manera respectuosa amb l'entorn. Per a una planta química de formaldehid a Tarragona, l'SGA no és només una eina per complir la legislació, sinó una estratègia per a la sostenibilitat, la prevenció de riscos i la millora de la reputació empresarial.

6.3.1. Política ambiental de la planta.

La política ambiental representa la declaració formal del compromís de la planta amb la protecció del medi ambient, la prevenció de la contaminació i la millora contínua. Aquesta política es fonamenta en els següents principis:

- **Compliment legal:** Identificació i actualització constant de les normatives aplicables, assegurant que les emissions i operacions es mantinguin dins els límits permesos.
- **Eficiència de recursos:** Optimització del consum de matèries primeres, energia i aigua per minimitzar la petjada ecològica del procés productiu.
- **Minimització de residus:** Reducció de la generació d'efluents líquids i sòlids, promovent la seva correcta segregació i valorització externa.
- **Formació i conscienciació:** Capacitació periòdica del personal en el maneig segur de substàncies tòxiques com el formaldehid i el metanol, i en protocols de resposta davant emergències ambientals.

6.3.2. Normativa ISO 14001 i Registre EMAS.

Per estructurar la gestió ambiental, la planta implementa tres estàndards de reconegut prestigi europeu i internacional:

1. **ISO 14001 [10]:** És l'estàndard internacional més reconegut per a sistemes de gestió ambiental. Es basa en el cicle de millora contínua PHVA (Planificar-Fer-Verificar-Actuar). Aquesta norma ajuda l'organització a identificar els aspectes ambientals significatius, establir metes mesurables i realitzar un monitoratge rigorós de la qualitat de l'aire i l'aigua.

2. **Registre EMAS [11]:** El Reglament Comunitari d'Ecogestió i Ecoauditoria (EMAS) és una eina de la Unió Europea que va més enllà dels requisits de la ISO 14001. L'EMAS imposa obligacions addicionals com la realització d'auditories ambientals externes independents i la publicació periòdica d'una Declaració Ambiental validada per garantir la màxima transparència davant el públic i les administracions.
3. **ISO 50001 [12]:** Donada la naturalesa altament exotèrmica de la reacció d'oxidació del metanol, s'implementa la ISO 50001. Aquesta norma ajuda a establir els processos per millorar l'acompliment energètic, facilitant la identificació d'oportunitats per a la recuperació de calor i l'optimització de l'ús del vapor generat, la qual cosa redueix les emissions indirectes de gasos d'efecte hivernacle.



Figura 1. Logotips ISO 14001, ISO 50001 i EMAS.

6.3.3. Programa "Responsible Care"

Com a part del sector químic espanyol, l'empresa s'adhereix a la iniciativa internacional Responsible Care®, promoguda a Espanya per FEIQUE (Federació de la Indústria Química Espanyola).

Aquest programa voluntari compromet a l'empresa a millorar contínuament en matèria de seguretat, salut i protecció del medi ambient en totes les seves operacions, d'acord amb els millors estàndards industrials. A diferència d'altres sistemes, *Responsible Care* aborda la gestió de riscos dels productes químics de manera integral, des del seu desenvolupament fins a la seva disposició final, fomentant una relació de transparència i col·laboració amb la comunitat local de Tarragona.



Figura 2. Logotip Responsible Care.

6.4. Gestió d'emissions atmosfèriques (Residus gasosos)

La producció de formaldehid implica la manipulació de substàncies volàtils i tòxiques (metanol i formaldehid) que requereixen un sistema de gestió integral per minimitzar l'impacte ambiental i complir amb les Millors Tècniques Disponibles (MTD) del sector químic.

6.4.1. Identificació de focus d'emissió

S'han identificat dos tipus de focus d'emissió en el disseny de la planta:

1. Focus Canalitzat (F-1):

Correspon a la sortida dels gasos residuals de la columna d'absorció. Aquest corrent presenta el cabal més elevat de la planta (24.000 kg/h aprox) i conté traces de reactius no convertits que han de ser tractats abans de l'emissió per xemeneia.

2. Emissions Difuses i Fugitives:

a. Tancs d'emmagatzematge:

- i. Focus d'emissió de COVs degut a pèrdues per respiració i pèrdues de treball durant les operacions de càrrega de metanol i descàrrega de producte.
- ii. Focus d'emissió de gasos portadors d'inertització: Les maniobres d'ompliment de líquids als tancs generen un excedent de nitrogen que és desplaçat cap a l'exterior a través de les vàlvules PCV de venteig. Aquest nitrogen actua com a gas portador de compostos orgànics volàtils (COVs) saturats de la següent manera: Tant en el venteig dels tancs de metanol com als de formaldehid, el nitrogen arrossega els vapors dels compostos cap al reactor catalític oxidatiu per a la seva destrucció tèrmica eficient.

- b. **Equips dinàmics:** Microfuites en els segells dels compressors, bombes de recirculació i brides de les canonades d'acer inoxidable 316L, especialment en les zones d'alta temperatura.

6.4.2. Tractament proposat

Per garantir la innocuïtat de les emissions, s'ha implementat un sistema d'Oxidació Catalítica amb Integració Tèrmica:

- **Oxiditzador Catalític:** S'utilitza un reactor de conversió on el metanol i el formaldehid s'oxiden forçadament a CO₂ i H₂O. S'ha fixat una eficiència de disseny del 99,9% per a ambdós contaminants.
- **Gestió de Tancs:** Per minimitzar les emissions difuses, els tancs d'emmagatzematge compten amb sistemes d'inertització amb nitrogen i connexió dels ventejos amb el cremador.
- **Selecció de materials:** Totes les línies de transport de gasos a alta temperatura s'han projectat en acer AISI 316L per garantir la resistència a la corrosió intercrystal·lina fins als 400°C.

6.4.3. Marges legals i control d'emissions.

El disseny final s'ha comparat amb els valors límit d'emissió (VLE) establerts en el document BREF LVOC de la Unió Europea per a la gran indústria química orgànica [8].

Taula 2. Comparació dels valors amb els límits establerts pel MTD.

Contaminant	Concentració de disseny	Límit MTD (BREF)	Estat
Metanol (COVs totals)	~2,35 mg/Nm ³	< 20 mg/Nm ³	Compleix
Formaldehid	~0,005 mg/Nm ³	< 5 mg/Nm ³	Compleix
Monòxid de Carboni (CO)	0,00 mg/Nm ³	< 50 mg/Nm ³	Compleix

6.5. Gestió d'aigües residuals (Residus líquids)

El disseny hidràulic i de gestió d'efluents líquids de la planta s'ha desenvolupat sota criteris de segregació en origen i minimització de cabals, buscant el compliment de les directrius de l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA) i el Decret 130/2003 [13].

6.5.1. Identificació i caracterització dels corrents residuals líquids

El procés de producció de formaldehid presenta un comportament altament eficient pel que fa a l'ús de l'aigua, dividint els seus corrents líquids en dues categories:

1. **Aigua de procés (Llaç tancat):** La columna d'absorció rep un cabal constant d'aigua pura de 10.250 kg/h. Aquesta aigua actua com a solvent per absorbir el formaldehid gasós provinent del reactor, incorporant-se íntegrament com a part del producte final comercial. Per tant, el procés químic té un efluent líquid zero (Zero Liquid Discharge - ZLD).
2. **Circuit de refrigeració:** La planta disposa de dues torres de refrigeració idèntiques que treballen en configuració 2 x 100% amb alternança setmanal. Com que l'aigua d'aportació passa per una planta descalcificadora prèvia, s'elimina el risc de precipitació de carbonats. Això permet operar sense necessitat de realitzar purgues de concentració significatives, reduint el residu líquid d'aquest bloc a valors menyspreables.

6.5.2. Sistema de recollida, sumiders i xarxa separativa

Per optimitzar la gestió i evitar el dimensionament de grans dipòsits de retenció, la planta compta amb una xarxa de sumiders separativa.

Les vàlvules manuals de desguàs dels cubets de retenció (CB-100 i CB-101) i del cargadero romandran normalment tancades per disseny preventiu de seguretat ambiental. En cas d'episodi de precipitació pluvial, l'operari realitzarà un mostreig visual i analític de l'arqueta per confirmar l'absència de contaminació química; un cop validada la puresa de l'aigua, es procedirà a l'obertura controlada de la vàlvula per evacuar les pluvials netes cap al col·lector industrial del polígon, tornant-la a segellar immediatament després.

6.5.3. Punt d'abocament i compliment normatiu

L'abocament final de les aigües residuals de la planta es realitzarà de forma directa al col·lector de clavegueram industrial del polígon.

Abans de la connexió amb el col·lector públic, es disposarà d'una arqueta de registre i control on es garantirà de forma permanent que els paràmetres de l'efluent es troben dins dels límits fixats pel Reglament dels Serveis Públics de Sanejament de Catalunya [13]:

Taula 3. Comparativa de l'efluent líquid de la planta amb els valors límit d'abocament de l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA).

Paràmetre de control	Valor estimat de la planta	Límit d'abocament (ACA)	Estat
Temperatura	<30 °C (després de refredament)	< 40 °C	Compleix
pH	6,5 - 8,5	6,0 - 10,0	Compleix
Demanda Química d'Oxigen (DQO)	<100 mg/l	< 1.000 mg/l	Compleix
Matèries en Suspensió (MES)	Menyspreable	< 500 mg/l	Compleix
Compostos orgànics (Metanol/Formol)	0,0 mg/l (Procés ZLD)	Segons toxicitat	Compleix

6.6. Gestió de residus sòlids

La planta de producció de formaldehid genera diversos corrents de residus sòlids derivats tant del procés de reacció com de les activitats de manteniment i operació. La gestió d'aquests es regeix per la Llei 7/2022 de residus i sòls contaminats per a una economia circular.

6.6.1. Residus perillosos

Són aquells que, per la seva composició química (presència de metalls pesants o contacte amb tòxics), poden representar un risc per a la salut o el medi ambient.

- **Catalitzador gastat (LER 16 08 02*):** Provenient del reactor catalític principal. Està compost per òxids de ferro i molibdè. Es genera de forma puntual cada 18-24 mesos durant la parada de manteniment. Donada la seva naturalesa, l'acer 316L dels tubs del reactor garanteix que no hi hagi contaminació creuada per corrosió del suport.
- **Materials absorbents i EPIs contaminats (LER 15 02 02*):** Guants, mascaretes i draps utilitzats en la neteja de petites fuites de metanol o formaldehid a l'illa de tancs i bombes.
- **Olis de lubricació (LER 13 02 05*):** Derivats del manteniment preventiu dels compressors de procés.
- **Dowtherm A usat (LER 13 03 08*):** Oli sintètic de transmissió de calor provinent dels dos bescanviadors principals. No es genera de forma contínua, sinó com a residu de manteniment puntual cada X anys quan l'oli es degrada i perd propietats tèrmiques. Es retira en bidons estancs.
- **Aigua glicolada / HTL degradada (LER 16 01 14*):** El fluid tèrmic utilitzat per refredar el producte final. En cas de fuga interna, purga o substitució completa del circuit per pèrdua d'eficiència de l'anticongelant, es gestiona com a residu perillós envasat.

6.6.2. Residus no perillosos

Residus generats en operacions auxiliars que no presenten característiques de perillositat segons la normativa vigent.

- **Filtres d'aire de procés (LER 15 02 03):** Cartutxos filtrants de l'aire d'entrada al compressor, compostos principalment per cel·lulosa i pols retinguda.
- **Ferralla metàl·lica (LER 17 04 05):** Restes de canonades d'acer inoxidable o vàlvules substituïdes durant les reparacions.
- **Embalatges i residus municipals (LER 15 01 i 20 03 01):** Cartró, plàstics i palets de fusta provinents del magatzem, així com els residus generats a les oficines i vestuaris.

Els codis numèrics de sis xifres indicats entre parèntesis per a cada residu corresponen a la Llista Europea de Residus (LER). Aquesta codificació és l'estàndard oficialitzat per la Decisió de la Comissió 2014/955/UE per a la identificació unificada de residus dins de la Unió Europea.

6.6.3. Gestió externa i transport

La planta disposarà d'una zona d'emmagatzematge temporal de residus (ZETR) degudament senyalitzada i ventilada. La gestió seguirà el següent protocol:

1. **Emmagatzematge i Etiquetatge:** Tots els residus perillosos es guardaran en bidons homologats amb l'etiqueta d'identificació de residu segons el Reglament (CE) 1272/2008 [3].
2. **Transport ADR:** El transport dels residus perillosos es realitzarà mitjançant transportistes autoritzats sota l'Acord sobre el transport de mercaderies perilloses per carretera (ADR) [5].
3. **Economia Circular:** El catalitzador gastat es gestionarà mitjançant un contracte de "buy-back" amb el fabricant, on es valoritzaran els metalls preciosos (Molibdè) per a la fabricació de nous lots, minimitzant així l'extracció de matèries primeres verge.
4. **Agència de Residus de Catalunya (ARC):** Totes les sortides de residus es registraran telemàticament mitjançant les fitxes d'acceptació i els fulls de seguiment oficials.

6.7. Gestió de l'eficiència energètica i energies renovables

6.7.1. Finalitat ambiental i integració en el Sistema de Gestió Energètica

Dins del marc conceptual de la millora contínua i en estreta sintonia amb els vectors de la norma ISO 50001, la planta METAFORM incorpora com a element d'enginyeria de transició energètica una instal·lació de plaques solars fotovoltaïques [16]. La finalitat d'aquest sistema és doble: d'una banda, la descarbonització parcial de la demanda elèctrica de la planta a través de la generació d'energia neta *in situ*, de l'altra, la reducció de la dependència del subministrament elèctric extern en un sector d'alta intensitat d'utilitats com és la indústria química del formaldehid.

L'aprofitament d'una superfície de terreny pla disponible d'aproximadament 7.500 m², annexa a les unitats de procés i àrees de serveis, permet la implantació d'un camp solar sense necessitat d'incórrer en moviments de terres complexos ni alteracions topogràfiques severes. Aquesta solució d'enginyeria actua directament sobre l'Indicador de Rendiment Energètic (EnPI) de la instal·lació, alineant l'activitat industrial amb les polítiques d'autoconsum industrial de la Generalitat de Catalunya i les directrius europees d'eficiència energètica.

6.7.2. Reducció del consum i afectació sobre l'empremta de carboni

L'aportació elèctrica del camp fotovoltaic desplaça directament el consum de l'energia procedent de la xarxa de distribució de mitjana tensió (20 kV), la qual compta amb un mix energètic comercial associat a emissions de gasos d'efecte hivernacle (GEH). Des del punt de vista de la comptabilitat de carboni, aquesta substitució comporta una disminució directa de les emissions indirectes de CO₂ equivalents de la planta, classificades com a Emissions d'Abast 2 segons el *Greenhouse Gas Protocol* (GHG Protocol) [16].

Qualitativament, aquesta transició disminueix l'impacte ambiental global de la planta registrat en els inventaris periòdics exigits per l'Autorització Ambiental Integrada (AAI), millorant la competitivitat ambiental de la solució aquosa de formaldehid al 37% en els mercats de química orgànica de gran volum.

6.7.3. Arquitectura d'emmagatzematge i viabilitat econòmica preliminar

Atesa la naturalesa intermitent de la font de recurs solar i la continuïtat requerida per al procés químic Formox (operació contínua de 330 dies/any), es planteja la integració conceptual d'un sistema d'emmagatzematge d'energia mitjançant bateries d'alta capacitat.

L'avaluació econòmica preliminar d'aquesta integració energètica estima un estalvi net en els costos operatius d'adquisició d'electricitat d'aproximadament 300.000 €/any. Aquest flux de caixa positiu reforça la viabilitat financera del projecte d'inversió, esmorteint els costos fixos derivats del consum energètic dels equips dinàmics de gran potència (com els bufadors d'aire B-701/702 i els compressors).

6.8. Altres impactes ambientals

Aquest apartat avalua aquells vectors ambientals derivats de l'activitat de la planta de producció de formaldehid que, tot i no generar residus directes o abocaments líquids, poden alterar l'entorn de l'assentament industrial. L'anàlisi se centra en la contaminació acústica, la contaminació lumínica i el control d'olors i vectors, d'acord amb la normativa sectorial vigent a Catalunya.

6.8.1. Contaminació acústica

L'operació contínua de la planta implica l'ús d'equips mecànics rotatius de gran potència. Mitjançant l'anàlisi dels equips de la planta, s'han identificat com a principals focus emissors de pressió acústica els següents elements de l'àrea d'utilitats i serveis:

- Els dos bufadors d'aire centrífugs multietapa B-701 i B-702 (AtlasCopco ZM 9 VSD), amb motors d'alta potència (1000 kW).
- Les bombes d'impulsió del circuit d'oli tèrmic (Dowtherm A) associades a les calderes CO-701 i CO-702.
- Els ventiladors axials superiors de les torres de refrigeració TR-701 i TR-702.
- Els compressors integrats en els sistemes de refrigeració d'aigua glicolada (*chillers*) CH-701 i CH-702.

Sense un tractament acústic, aquests equips poden generar nivells de soroll d'entre 85 dBA i 95 dBA a un metre de distància, superant els límits permesos a la tanca del polígon industrial. Per garantir el compliment de la Llei 16/2002 de protecció contra la contaminació acústica de Catalunya (i el Decret 176/2009) [14], que fixa un valor límit d'immissió en zona industrial de 65 dBA en període diurn/vespertí (de 7:00 a 23:00 h) i de 55 dBA en període nocturn (de 23:00 a 7:00 h), es prescriuen les següents mesures de mitigació en el disseny:

1. **Encapsulament en font:** Els bufadors de procés B-701/702 es col·locaran sobre bancades antivibratòries de formigó amb amortidors de cautxú (*silentblocks*) per evitar la transmissió de vibracions estructurals, i s'equiparan individualment amb cabines d'aïllament acústic integrades (*enclosures*) subministrades pel propi fabricant, així com silenciadors en la línia d'aspiració d'aire atmosfèric.

2. **Aïllament de canonades:** Les línies de descàrrega de gasos a alta velocitat es cobriran amb un calorifugat que complirà una doble funció: aïllament tèrmic i atenuació acústica (mitjançant llana de roca de densitat $> 100 \text{ kg/m}^3$).
3. **Selecció d'equips exteriors de baix soroll:** Els ventiladors de les torres de refrigeració TR-701/702 i els *chillers* CH-701/702, que operen directament a l'intempèrie, es seleccionaran amb pales perfilades aerodinàmicament de baixa revolució i motors silenciats, assegurant que la pressió acústica combinada en el perímetre de la parcel·la no superi els 55 dBA regulats per a la nit.

6.8.2. Contaminació lumínica

Atès que la planta opera en règim continu de 24 hores, la il·luminació nocturna és indispensable per garantir la seguretat dels operaris i la vigilància de les instal·lacions, especialment a les zones exteriors com el parc de tancs de metanol i formaldehid, així com les zones de càrrega i descàrrega (*cargaderos*).

Per minimitzar la brillantor del cel nocturn, el consum energètic i la intrusió lumínica en zones adjacents, el criteri de disseny de la instal·lació d'enllumenat exterior s'ajusta estrictament a la Llei 6/2001 de protecció del medi nocturn de Catalunya i al seu Reglament (Decret 190/2015) [15]. S'estableixen les següents directrius constructives:

1. **Tecnologia d'alta eficiència i espectre selectiu:** S'utilitzaran exclusivament projectors tipus LED de llum blanca càlida o neutra (temperatura de color inferior a 3000 K), reduint dràsticament l'emissió de longituds d'ona blaves, que són les que provoquen una major dispersió atmosfèrica.
2. **Direccionalitat i Flux Hemisfèric Superior (FHS):** Totes les lluminàries s'instal·laran en suports horitzontals sense inclinació ascendent, orientades estrictament de dalt a baix. Es prescriuran òptiques asimètriques amb un Flux Hemisfèric Superior instal·lat (FHSinst) del 0.0%, evitant qualsevol emissió directa de llum cap a l'horitzó o cap al cel.
3. **Regulació de flux temporal:** Es dissenyarà un sistema d'automatització mitjançant un quadre de control horari i cèl·lules fotoelèctriques. A partir de la mitjanit (horari de baixada de l'activitat logística de transport), el flux lumínic de les zones perimetrals i vials secundaris es reduirà un 50% de forma automàtica, mantenint actiu només el nivell mínim de seguretat i vigilància de la planta.

6.8.3. Emissió d'olors i vectors de contaminació

Control d'olors

El formaldehid és una substància química altament volàtil que posseeix un llindar d'olor extremadament baix, detectable per l'olfacte humà a concentracions d'entre 0.1 i 1 ppm, caracteritzant-se per una olor fortament picant i sufocant. Per tant, el control d'olors és crític per evitar denúncies ambientals i garantir el benestar de la zona industrial.

L'estratègia de disseny de la planta garanteix un impacte odorífer nul (zero emissions d'olor) en condicions normals d'operació continuada, recolzant-se en el tancament hermètic del procés:

- **Circuit estanc de gasos:** Tots els gasos de venteig i desplaçament de corrents originats durant l'ompliment de les cisternes o dels tancs d'emmagatzematge de formaldehid no s'emeten a l'atmosfera. Aquests vapors estan completament canalitzats i es dirigeixen de manera tancada cap al reactor catalític oxidatiu RC-501 (cremador).
- **Destrucció tèrmica/catalítica:** En el reactor RC-501, mitjançant el catalitzador de Platí/Pal·ladi, els compostos orgànics volàtils (metanol lliure i formaldehid gasós) pateixen una oxidació completa cap a CO₂ i vapor d'aigua, assolint eficiències de destrucció superiors al 99.9%. Això elimina de soca-rel qualsevol molècula odorífera abans que el corrent net sigui evacuat a l'atmosfera.
- **Manteniment de l'estanquitat:** Per evitar fugides fugitives en brides o vàlvules (que provocarien olors puntuals), es fan servir juntes de Tefló (PTFE) universals d'alta resistència química i bombes amb tancament mecànic doble amb fluid de barrera.

Control de vectors

Es defineixen com a vectors aquells animals (insectes, rosegadors, aus) capaços de transmetre malalties o contaminar les instal·lacions, generalment atrets per acumulacions d'aigua, residus orgànics o zones de refugi.

Atesa la naturalesa purament química, mineral i altament tòxica de les matèries primeres utilitzades en el procés (metanol) i del producte final (formaldehid), la planta no disposa de cap atractiu alimentari ni matèria orgànica que pugui afavorir la proliferació de plagues de forma natural. Tot i així, per prevenció, s'estableixen les següents directrius de disseny i operació:

1. **Pavimentació i drenatges:** Tota la superfície de les àrees de procés i parcs de tancs estarà completament pavimentada amb formigó impermeable, dissenyant pendents cap als embornals i cubets de retenció. Això evita l'estancament de l'aigua de pluja o de neteja, eliminant focus de cria d'insectes.
2. **Pla de Gestió de Residus Urbans:** Els residus assimilables a urbans generats a les oficines i vestuaris de la planta es disposaran en contenidors estancs i tancats, amb una retirada diària programada per evitar l'atracció de rosegadors o aus.
3. **Programa DDD:** S'integrarà dins del pla de manteniment de la planta un contracte permanent amb una empresa homologada per a l'execució d'un servei periòdic de Desinfecció, Desinsectació i Desratització (DDD), col·locant trampes d'esquer rídis perimetrals al voltant del tancat de la planta.

6.9. Avaluació de l'impacte ambiental (Matriu de Leopold)

La Matriu de Leopold s'utilitza en aquest apartat com a eina qualitativa d'avaluació ambiental per identificar, ordenar i valorar les interaccions més rellevants entre les activitats de la planta de producció de formaldehid i els factors ambientals potencialment afectats [17]. Aquesta metodologia és adequada en fases de projecte perquè permet integrar impactes sobre l'aire, l'aigua, el sòl, els residus, el consum de recursos i el risc ambiental en una única taula de valoració.

L'anàlisi s'ha aplicat a la planta METAFORM, projectada per produir formaldehid en dissolució aquosa al 37% estabilitzada amb metanol, ubicada al Polígon Industrial "Satèl·lits" de Tarragona i amb una operació prevista de 330 dies anuals. La documentació ambiental del projecte ja estableix com a objectiu específic l'ús de la Matriu de Leopold per identificar i quantificar les interaccions entre les accions de la planta i els factors ambientals del territori.

L'avaluació se centra en la fase d'operació de la planta, incloent també les operacions de posada en marxa, parada, manteniment i resposta davant emergències, ja que aquestes situacions poden generar impactes ambientals diferents dels de l'operació estacionària.

6.9.1. Metodologia de la Matriu de Leopold: Identificació i valoració de les interaccions entre l'activitat industrial i els factors ambientals.

La Matriu de Leopold consisteix a creuar les accions o activitats del projecte amb els factors ambientals susceptibles de veure's afectats. En cada interacció significativa s'assignen dos valors: la magnitud de l'impacte i la importància ambiental de l'efecte. La guia de la Matriu de Leopold defineix aquesta eina com una matriu interactiva simple on les activitats del projecte es disposen en un eix i els factors ambientals en l'altre, valorant per a cada interacció la magnitud i la importància de l'impacte.

Per adaptar la metodologia al nivell de definició disponible del projecte, s'ha utilitzat una escala semiquantitativa:

Taula 4. Magnitud de l'impacte (M)

Valor	Interpretació
+1 a +3	Impacte positiu baix
+4 a +6	Impacte positiu moderat
+7 a +10	Impacte positiu alt
-1 a -3	Impacte negatiu baix
-4 a -6	Impacte negatiu moderat
-7 a -10	Impacte negatiu alt

Taula 5. Importància de l'impacte (I).

Valor	Interpretació
1-3	Importància baixa
4-6	Importància mitjana
7-8	Importància alta
9-10	Importància molt alta

El valor global de cada interacció s'ha calculat com:

$$\text{Impacte} = \text{Magnitud} \times \text{Importància}$$

Per tant, els impactes negatius tenen signe negatiu i els impactes positius tenen signe positiu. La severitat s'ha classificat de la manera següent:

Taula 6. Valor de la severitat.

Valor absolut de l'impacte	Severitat
1-20	Compatible
21-40	Moderada
41-60	Severa
>60	Crítica o molt significativa

Les accions seleccionades corresponen a les unitats i operacions descrites en el projecte: recepció i emmagatzematge de metanol, procés FORMOX d'oxidació catalítica, absorció i estabilització del producte, tractament de gasos residuals, emmagatzematge de formalina, expedició en cisternes, gestió d'aigües residuals, gestió de residus, serveis auxiliars, posada en marxa i manteniment. El projecte identifica explícitament el procés FORMOX, la manipulació de metanol i formaldehid, la naturalesa exotèrmica de la reacció i la necessitat de controlar equips crítics com el reactor, la columna d'absorció i els serveis auxiliars.

Els factors ambientals seleccionats són els que apareixen justificats en aquest capítol i en els capítols tècnics associats: qualitat de l'aire, emissions de compostos orgànics volàtils, qualitat de les aigües, consum d'aigua, risc de contaminació del sòl, residus perillosos, soroll, olors, consum energètic i risc d'accident ambiental. També s'ha inclòs la compatibilitat territorial, atès que la planta es localitza en un polígon industrial.

6.9.2. Resultats i interpretació.

A continuació es presenta la Matriu de Leopold simplificada. Per facilitar-ne la lectura, només s'han valorat les interaccions ambientalment significatives. Les cel·les buides indiquen que no s'ha identificat una interacció directa rellevant amb la informació disponible.

Taula 7. Matriu de Leopold.

Acció del projecte / Factor ambiental	Aire i emissions	Aigua i abocaments	Consum d' aigua	Sòl i vessaments	Residus perillosos	Soroll	Olors	Energia	Risc ambiental	Entorn industrial	Impacte Positiu	Impacte negatiu	Total
Recepció i emmagatzematge de metanol	-4 7			-5 8			-3 5		-6 9		0	4	-137
Evaporació, mescla i reacció catalítica FORMOX	-5 8							-7 8	-5 8		0	3	-136
Absorció i estabilització del producte	-4 7		-5 7				-3 5	-3 5	-4 7		0	5	-121
Tractament de gasos de cua	7 9						4 7	-3 5	-2 5		2	2	66
Emmagatzematge de formaldehid	-3 6			-5 8			-4 6		-6 9		0	4	-136

Càrrega i expedició en cisternes	-4 7			-6 8		-3 4	-4 6		-6 9		0	5	-166
Gestió d'aigües residuals		-6 9		-3 7					-4 8		0	3	-107
Gestió de residus sòlids i perillous				-3 7	-6 8				-3 7		0	3	-90
Serveis auxiliars: calderes, chillers, torres, compressors i electricitat	-2 6		2 7			-4 6	-4 8	-2 5	2 5		0	5	-103
Posada en marxa, parada i reinici	-5 7	-3 5			-3 5	-3 5	-3 5	-4 6	-6 8		0	7	-167
Manteniment preventiu i correctiu				-3 6	-4 7	-2 4			5 8		1	3	-14
Sistemes de seguretat, contenció i emergència	3 7	3 7		6 9					7 10	3 6	5	0	184

Impacte Positiu	2	1	1	1	0	0	1	0	2	2	-927
Impacte Negatiu	7	2	1	6	3	4	5	5	10	0	
TOTAL	-105	-48	-70	-134	-91	-59	-65	-142	-241	28	

Interpretació dels impactes principals

Els resultats indiquen que les activitats amb impacte potencial més elevat són la posada en marxa i parada, la càrrega i expedició en cisternes, els serveis auxiliars, l'emmagatzematge de metanol i formaldehid i la reacció catalítica FORMOX. Aquest resultat és coherent amb la naturalesa de la planta: es manipulen substàncies volàtils, tòxiques i inflamables, i el procés requereix equips amb consum energètic elevat, sistemes de transferència de calor, compressors, bombes i serveis de refrigeració.

La càrrega i expedició en cisternes presenta el valor negatiu més alt perquè combina risc de vessament, emissions fugitives, olors i risc accidental durant les maniobres de connexió i desconexió. Aquest punt és especialment sensible perquè el projecte preveu la recepció de metanol i l'expedició de formaldehid en cisternes, amb una estació de càrrega i descàrrega dissenyada específicament per reduir el risc de vessaments i emissions. La zona de descàrrega i expedició incorpora solera impermeable, pendent cap a un sumider de recollida tancat i dipòsit de retenció independent de la xarxa general de clavegueram.

La posada en marxa, parada i reinici també és una fase ambientalment crítica. Durant aquests períodes hi ha més probabilitat d'operacions transitòries, purgues, ajustos de procés, proves d'estanquitat i desviacions respecte a l'operació estacionària. Aquesta etapa és crítica perquè integra la verificació dels equips, sistemes de control, serveis auxiliars i mesures de seguretat, especialment en una planta que manipula metanol i formaldehid i opera amb una reacció altament exotèrmica.

La reacció catalítica FORMOX genera un impacte rellevant sobretot pel consum energètic i pel risc associat al control tèrmic del reactor. El reactor és un reactor catalític multitubular de llit fix, operant amb catalitzador de $\text{Fe}_2(\text{MoO}_4)_3$, dissenyat per controlar una reacció exotèrmica i evitar punts calents que podrien reduir la selectivitat i afectar la seguretat del procés.

Els serveis auxiliars també tenen un impacte destacable, principalment pel consum elèctric, el consum d'aigua i el soroll associat a equips com chillers, torres de refrigeració, bombes, bufadors i compressors. S'estima un consum total dels equips de planta de 4.839 kW i selecciona dos transformadors de 5.000 kVA per cobrir les necessitats de potència, fet que justifica la valoració negativa del factor energètic. No obstant això, la severitat d'aquest vector es veu parcialment mitigada gràcies a la integració de la instal·lació de plaques fotovoltaiques d'autoconsum. Aquesta font d'energia renovable redueix de manera directa la demanda d'electricitat procedent de la xarxa comercial exterior, fet que es tradueix en una disminució de l'empremta de carboni indirecta de la planta (reducció d'emissions de CO₂ associades al mix elèctric) i en una millora de la sostenibilitat i eficiència energètica global de l'entorn industrial.

Pel que fa als factors ambientals més sensibles, destaquen el risc ambiental accidental, el sòl i les aigües, la qualitat de l'aire i el consum energètic. El risc ambiental és especialment rellevant per la presència de metanol i formaldehid, substàncies associades a toxicitat, inflamabilitat i potencial afectació ambiental en cas de fuga o vessament. El capítol de Seguretat i Higiene identifica la planta dins l'àmbit de prevenció d'accidents greus, considerant el metanol i el formaldehid com substàncies clau per a l'anàlisi Seveso.

L'impacte positiu més important correspon als sistemes de seguretat, contenció i emergència i al tractament de gasos de cua. Aquests sistemes no eliminen completament l'impacte ambiental de la planta, però redueixen de forma significativa la probabilitat i la severitat dels efectes sobre l'aire, el sòl, l'aigua i l'entorn. En aquest sentit, s'identifica la gestió d'emissions atmosfèriques com un vector clau, especialment per la presència de substàncies volàtils i tòxiques com metanol i formaldehid, i es preveu el tractament dels gasos residuals de la columna d'absorció.

Impactes més crítics

Els impactes negatius més significatius identificats són:

1. **Risc de vessaments de metanol o formaldehid** durant l'emmagatzematge, càrrega, descàrrega i transferència.
2. **Emissions atmosfèriques de metanol, formaldehid o COV** associades a ventejos, gasos de cua, operacions de transferència i situacions transitòries.
3. **Consum energètic elevat** del procés i dels serveis auxiliars.
4. **Generació de residus perillosos**, especialment en operacions de manteniment, substitució de materials contaminats, filtres, absorbents o residus associats a la manipulació de productes químics.
5. **Aigües residuals contaminades**, especialment si procedeixen de neteges, purgues, aigües de procés o aigües potencialment afectades per vessaments.

Mesures preventives i correctores ja incorporades al projecte

El projecte ja inclou diverses mesures que redueixen la severitat dels impactes ambientals:

Taula 8. mesures preventives incorporades.

Impacte potencial	Mesura prevista al projecte
Vessaments en tancs i zones de transferència	Cubetos de retenció, soleres impermeables, pendents i recollida cap a sumiders tancats
Emissions fugitives i atmosferes explosives	Sistemes de venteig, detecció de gasos, instrumentació ATEX i control de nivell
Incendis o accidents amb metanol/formaldehid	Sistemes de protecció contra incendis, escuma, extintors, BIE i plans d'emergència
Gasos residuals de procés	Tractament de gasos de cua abans de l'emissió final
Risc durant posada en marxa	Verificació de llaços de control, proves d'estanquitat, formació específica i manteniment preventiu reforçat
Residus perillosos	Gestió separada, contenidors adequats i retirada per gestor autorizado
Plagues i vectors	Pavimentació, drenatges, gestió de residus urbans i programa DDD
Consum elèctric de xarxa i emissions indirectes de GEH (Plaques solars)	Instal·lació de panells solars amb inversors eficients connectats al sistema de gestió energètica (ISO 50001). Inclusió dels mòduls fotovoltaics retirats en un programa futur de reciclatge i conveni de manteniment per evitar pèrdues d'eficiència (neteja en sec per minimitzar l'ús d'aigua).

6.10. Millora contínua i valorització

6.10.1. Valorització de subproductes i energia.

El disseny de la planta de producció de formaldehid mitjançant el procés FORMOX s'ha concebut des de les línies inicials de l'enginyeria bàsica sota els criteris de l'ecologia industrial i la minimització en origen. La millora contínua, element central dels sistemes de gestió ambiental implantats (ISO 14001 i Reglament EMAS), no es considera com una fita estàtica post-operatòria, sinó com un compromís dinàmic basat en el cicle de Deming (*Plan-Do-Check-Act*). En aquest sentit, la planta articula la seva sostenibilitat operativa al voltant de tres eixos integrats de valorització de subproductes i eficiència energètica:

- **Valorització material del catalitzador gastat:** El procés catalític d'oxidació de metanol requereix la substitució periòdica del llit de ferro-molibdè (Fe-Mo). Per evitar el dipòsit permanent d'un residu perillós complex, es formalitza un model de tancament de cicle de materials mitjançant un acord de devolució (*take-back agreement*) amb el proveïdor de la càrrega catalítica o un gestor autoritzat especialitzat. Aquest procés permet la recuperació selectiva de l'òxid de molibdè mitjançant tractaments hidrometallúrgics o de líquüefacció tèrmica externa, reintroduint el metall de transició a la cadena de valor i minimitzant dràsticament el volum final de residus perillosos a disposició final.
- **Aprofitament energètic mitjançant integració tèrmica del procés:** La reacció química d'oxidació catalítica per a l'obtenció de formaldehid és altament exotèrmica. En lloc de dissipar aquesta energia o dependre exclusivament de serveis auxiliars externs, el disseny de la planta implementa una estratègia d'integració tèrmica directa en el llaç de procés. El corrent de gasos de reacció que abandona el reactor a alta temperatura es condueix directament cap a un evaporador de capçalera. En aquest bescanviador de calor, l'energia tèrmica recuperada dels gasos de sortida es transfereix al corrent de metanol líquid d'alimentació, aportant la calor latent necessària per al seu canvi de fase complet. Aquesta configuració d'enginyeria optimitza el balanç global del complex, ja que s'elimina la necessitat de consumir vapor o energia elèctrica externa per a la vaporització del reactiu, minimitzant simultàniament la càrrega tèrmica enviada als sistemes posteriors de refrigeració.
- **Autoconsum mitjançant la instal·lació fotovoltaica:** Com a mesura de suport i diversificació de la matriu energètica de la planta, la inclusió de panells solars fotovoltaics a les cobertes de l'entorn industrial actua com un mecanisme eficaç

de generació distribuïda. Aquesta instal·lació d'energia renovable està directament orientada a cobrir una fracció del consum elèctric dels serveis auxiliars de caràcter continu (equips de bombeig, instrumentació, enllumenat i sistemes de control). La importància de la seva integració rau en la capacitat de reduir la dependència del *mix* elèctric comercial extern en les hores de màxima radiació, actuant com una mesura de mitigació directa de l'empremta de carboni associada a les emissions indirectes (Abast 2).

Aquest triple enfocament es troba regulat pel Sistema de Gestió Energètica segons la norma ISO 50001, el qual establirà un panell d'Indicadors de Rendiment Energètic (EnPIs) (com el consum elèctric per tona de formaldehid produït o el ràtio de recuperació de vapor) subjectes a auditories periòdiques per detectar desviacions i aplicar mesures d'optimització.

6.10.2. Propostes de minimització de l'impacte.

Tot i que el disseny de la planta compleix estrictament amb les Millors Tècniques Disponibles (MTD) descrites en els documents BREF sectorials (LVOC i WGC), es defineixen les següents directrius operatives a mitjà i llarg termini com a propostes realistes per aprofundir en la minimització de l'impacte:

1. **Optimització dinàmica del catalitzador:** Establir un programa de monitorització en temps real de la pèrdua de càrrega i de la selectivitat del reactor químic per predir el punt òptim de degradació del catalitzador, evitant substitucions prematures i maximitzant de manera eficient la vida útil de cada lot de ferro-molibdè.
2. **Auditoria d'efluents i tancament hidrològic avançat:** Tot i operar sota una premissa de disseny d'efluent líquid zero pel reciclatge de corrents interns, es proposa realitzar campanyes de caracterització analítica avançada dels corrents de purga i neteja. L'objectiu és avaluar la viabilitat futura de sistemes de depuració addicionals en circuit tancat que redueixin encara més el consum d'aigua de xarxa per a serveis no crítics.
3. **Digitalització i control predictiu d'emissions atmosfèriques:** Implementar un sistema de control predictiu basat en models intel·ligents artificials connectats als analitzadors en continu del tractament catalític de gasos de cua. Això permetria anticipar repunts puntuals en les emissions de compostos orgànics volàtils (COV), metanol o formaldehid davant de fluctuacions en la càrrega de l'alimentació del reactor, ajustant els paràmetres del convertidor abans que es produeixi la desviació.

4. **Pla de minimització acústica i d'olors en la cadena logística:** Desenvolupar un protocol d'obligat compliment per als transportistes i operadors de la zona de transferència de metanol i expedició de formaldehid, limitant els horaris de càrrega i descàrrega i priorititzant l'ús de sistemes de connexió de gasos equilibrats de buit per eliminar qualsevol emissió fugitiva odorífera durant les operacions logístiques a l'entorn industrial.

6.10.3. Conclusions de viabilitat ambiental i limitacions de l'estudi

L'avaluació ambiental sistemàtica realitzada al llarg d'aquest capítol permet dictaminar que el projecte de la planta de producció de formaldehid és ambientalment viable sota el marc normatiu vigent i els estàndards sectorials de la Unió Europea. La integració d'un sistema de tractament tèrmic/catalític d'alta eficiència per als gasos de cua, la configuració d'efluent líquid zero en la gestió d'aigües residuals, el compromís de valorització del catalitzador gastat i l'aprofitament termodinàmic de la reacció exotèrmica demostren un disseny conceptual sòlid, orientat a minimitzar els vectors de contaminació tradicionals de la indústria química orgànica. L'aplicació de la Matriu de Leopold confirma que, si bé l'activitat industrial inherent a la planta genera un impacte net negatiu Score-Global, aquest es troba controlat, confinat al sòl industrial autoritzat i fortament esmorteït per les mesures preventives i correctores incorporades.

En conclusió, la planta s'estableix com una instal·lació industrial moderna que adopta de forma rigorosa els principis de la química verda i la responsabilitat ambiental (programa *Responsible Care*).

6.11. Bibliografia

- [1] European Parliament, & Council of the European Union. (2010). *Directive 2010/75/EU of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control)*. Official Journal of the European Union, L 334, 17-119. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex%3A32010L0075>
- [2] European Parliament, & Council of the European Union. (2012). *Directive 2012/18/EU of 4 July 2012 on the control of major-accident hazards involving dangerous substances, amending and subsequently repealing Council Directive 96/82/EC*. Official Journal of the European Union, L 197, 1-37. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32012L0018&qid=1620222909387>
- [3] European Chemicals Agency. (2006). *Regulation (EC) No 1907/2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH)*. Official Journal of the European Union, L 396, 1-849. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32006R1907>
- [4] Jefatura del Estado. (2013). *Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental*. Boletín Oficial del Estado, (296), 98151-98229. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2013-12913>
- [5] Jefatura del Estado. (2022). *Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular*. Boletín Oficial del Estado, (85), 48148-48245. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2022-5809>
- [6] Jefatura del Estado. (2007). *Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera*. Boletín Oficial del Estado, (275), 46962-46987. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2007-19744>
- [7] Comunidad Autónoma de Cataluña. (2009). *Llei 20/2009, del 4 de desembre, de prevenció i control ambiental de les activitats*. Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya, (5524), 91245-91325. [BOE-A-2010-563 Ley 20/2009, de 4 de diciembre, de prevención y control ambiental de las actividades.](https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2010-563)
- [8] European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau (EIPPCB). (2017). *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Large Volume Organic Chemicals (LVOC)*. European Commission Joint Research Centre. <https://bureau-industrial-transformation.jrc.ec.europa.eu/reference/production-large-volume-organic-chemicals>
- [9] European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau (EIPPCB). (2022). *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Common Waste Gas Management and Treatment Systems in the Chemical Sector (WGC)*. European Commission Joint

Research Centre. <https://bureau-industrial-transformation.jrc.ec.europa.eu/reference/common-waste-gas-treatment-chemical-sector>

[10] International Organization for Standardization. (2026). *Environmental management systems — Requirements with guidance for use (ISO Standard No. 14001:2026)*. <https://www.iso.org/standard/60857.html>

[11] European Commission. (2009). *Regulation (EC) No 1221/2009 on the voluntary participation by organisations in a Community eco-management and audit scheme (EMAS)*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX%3A32009R1221>

[12] International Organization for Standardization. (2018). *Energy management systems — Requirements with guidance for use (ISO Standard No. 50001:2018)*. <https://www.iso.org/standard/69426.html>

[13] Generalitat de Catalunya. (2003). *Decret 130/2003, de 13 de maig, pel qual s'aprova el Reglament dels Serveis Públics de Sanejament de Catalunya*. Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya, (3894), 10515-10531. [CIDO dogc 2003_05_20030529 DOGC 20030529 095 110.pdf](#)

[14] Generalitat de Catalunya. (2002). *Llei 16/2002, de 28 de juny, de protecció contra la contaminació acústica*. Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya, (3674), 12349-12361. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2002-14987>

[15] Generalitat de Catalunya. (2001). *Llei 6/2001, de 31 de maig, de protecció del medi nocturn d'acord amb la contaminació lluminosa*. Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya, (3407), 8963-8971. [CIDO dogc 2001_06_20010612 DOGC 20010612 006 009.pdf](#)

[16] Institut Català d'Energia (ICAEN). (2021). *Estratègia de l'Autoconsum de Catalunya: Impuls de les instal·lacions fotovoltaïques en el sector industrial i de serveis*. Generalitat de Catalunya. <https://icaen.gencat.cat/ca/energia/autoconsum/>

[17] Leopold, L. B., Clarke, F. E., Hanshaw, B. B., & Balsley, J. R. (1971). *A procedure for evaluating environmental impact*. Geological Survey Circular 645, United States Department of the Interior. <https://pubs.usgs.gov/circ/1971/0645/report.pdf>