



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

Proyecto de Innovación

Convocatoria 2023/2024

Nº de proyecto: 76

Dinamización en el aula para facilitar el aprendizaje activo de los alumnos:
desarrollo de herramientas digitales de autoevaluación.

Nombre del responsable del proyecto: Ana Balea Martín

Facultad de Ciencias Químicas

Departamento de Ingeniería Química y de Materiales

1. Objetivos propuestos en la presentación del proyecto

El objetivo general de este proyecto de innovación docente, titulado “Dinamización en el aula para facilitar el aprendizaje activo de los alumnos: desarrollo de herramientas digitales de autoevaluación” fue promover el aprendizaje continuo de los estudiantes y mejorar su experiencia académica. Para ello, se buscó optimizar el aprovechamiento de las clases teóricas mediante su participación activa en el proceso de aprendizaje, desarrollando e implementando una metodología complementaria a las actividades del aula. Para ello, se han desarrollado contenidos didácticos de autoevaluación “on-line”, mediante el uso de herramientas digitales que incrementan la dinámica en el aula.

En concreto, se ha aplicado en las asignaturas de Tecnología del Medio Ambiente (TMA) de los Grados en Ingeniería Química (GIQ) y en Química (GQ) de la UCM, donde los profesores participantes en la propuesta imparten docencia.

Para alcanzar este objetivo general, los objetivos específicos propuestos en la presentación del proyecto fueron:

- **Objetivo 1.** Aumentar la motivación de los estudiantes ayudándoles a participar de forma activa y continua en su proceso de aprendizaje. Reflexión del alumno en su proceso de aprendizaje mediante la revisión y selección de los conocimientos más importantes abordados en cada lección. Comprobar si los/as alumnos/as identifican correctamente los aspectos más relevantes de la asignatura y si han adquirido las competencias definidas en la Guía Docente. Corregir las desviaciones encontradas.
- **Objetivo 2.** Pre-evaluación de los contenidos didácticos desarrollados por los estudiantes que participan en el proyecto y que ya han cursado la asignatura. Evaluación posterior por los/as alumnos/as de la asignatura para confirmar si se cumplen sus expectativas de aprendizaje.
- **Objetivo 3.** Aprendizaje de nuevas herramientas digitales por parte de los profesores, para la creación de cuestionarios como por ejemplo en la plataforma WooClap recientemente disponible en la UCM, en Kahoot, etc.
- **Objetivo 4.** Integrar los contenidos didácticos de autoevaluación en herramientas digitales que incrementen la dinámica en el aula, ayudando así a centrar la atención en la clase.
- **Objetivo 5.** Implementar y validar la nueva herramienta de autoevaluación digital para evaluar si los estudiantes han adquirido los conocimientos más importantes de la asignatura. Determinar el valor añadido de la herramienta de autoevaluación digital desarrollada.
- **Objetivo 6.** Transferencia de los resultados y de la metodología desarrollada a otros Organismos y Universidades para su aplicación en otras asignaturas.

2. Objetivos alcanzados

El **objetivo principal** propuesto inicialmente en el Proyecto **se ha alcanzado al 100%** desarrollando una metodología complementaria a las actividades del aula que facilita la implicación activa de los estudiantes en su proceso de aprendizaje, mejorando su motivación e interés por la asignatura.

En la **FASE 1** del proyecto se fomentó la reflexión de los estudiantes, concretamente en el GIQ, sobre los contenidos de la asignatura TMA que se impartió en el segundo cuatrimestre del curso 2022-2023. Para ello, las profesoras de la asignatura (A Blanco; E. Fuente y A. Balea) involucraron a los estudiantes a través de distintas actividades de reflexión en el aula (actividad 1.1.) que culminaron con la formación de un grupo de trabajo formado por las tres profesoras y 15 estudiantes de la asignatura (8 alumnas y 7 alumnos que cursaban la asignatura). Dentro de este grupo, los estudiantes establecieron cuáles son las preguntas clave que permiten abordar los conceptos más importantes de cada lección incluyendo sus respuestas (actividad 1.2.) (**objetivo 1**).

A partir de las preguntas y respuestas clave elaboradas por los estudiantes, se desarrolló la **FASE 2** del proyecto. En ella, las profesoras de la asignatura llevaron a cabo un análisis del material elaborado por los estudiantes identificando si todos los conceptos clave estaban incluidos y establecieron las medidas correctoras en caso de detectar desviaciones (actividad 2.1.). Este análisis permitió desarrollar contenidos didácticos de autoevaluación para cada uno de los bloques temáticos de la asignatura que abarcan todos los aspectos fundamentales de la misma. Este material consistió en documentos con preguntas y respuestas diseñadas para reforzar los conocimientos adquiridos en cada bloque, facilitando la comprensión y evaluación autónoma de los estudiantes. Los bloques temáticos abordados incluyen:

- **Bloque de aguas** (ANEXO 1): Preguntas enfocadas al origen y causas de la contaminación hídrica y los tratamientos para la depuración de las aguas residuales.
- **Bloque de contaminación atmosférica** (ANEXOS 2 y 3): Preguntas relacionadas con el origen y fuentes de la contaminación atmosférica, los tipos de contaminantes atmosféricos y sus efectos (cambio climático, destrucción de la capa de ozono, lluvia ácida y smog fotoquímico) y los métodos de control para la depuración de las corrientes gaseosas.
- **Bloque de gestión de residuos** (ANEXO 4): Preguntas enfocadas al origen y clasificación de los residuos sólidos, clasificación y normativa, tratamientos y gestión de residuos.
- **Bloque de suelos** (ANEXO 5): Preguntas relacionadas con la contaminación de los suelos, composición y propiedades del suelo y con las técnicas de descontaminación y recuperación de suelos.
- **Bloque de gestión ambiental** (ANEXO 6): Preguntas relacionadas con los sistema de gestión medioambiental, la evaluación del impacto ambiental y la predicción y valoración de impactos.

Este material fue inicialmente pre-evaluado por los estudiantes del GIQ miembros del proyecto que ya habían cursado la asignatura. Posteriormente, el material desarrollado fue utilizado por los estudiantes de TM, que cursaron la asignatura en el primer cuatrimestre del curso 2023-24, y los estudiantes de TMA-GIQ, que cursaron la asignatura en el segundo cuatrimestre del curso 2023-24, evaluándolo mediante una encuesta de satisfacción voluntaria realizada en los exámenes (actividad 2.2.). El 92% de los encuestados está muy de acuerdo o totalmente de acuerdo con que el material

desarrollado le ha ayudado a preparar el examen y sólo el 5% de los encuestados en el GIQ opinan que no les ha ayudado, lo que teniendo en cuenta que el 4% no ha usado el material, supone que sólo una persona no opina que le haya sido útil. El 100% de los estudiantes del GQ y el 95% de los de GIQ recomendaron desarrollar material similar para otras asignaturas (**objetivo 2**).

La **FASE 3** del proyecto consistió en aprender a utilizar la nueva herramienta Wooclap disponible en la UCM, para crear material digital de autoevaluación que permita dinamizar las clases. Los profesores del proyecto se han formado de forma autodidacta, debido a la ausencia de cursos específicos sobre esta herramienta, utilizando el minitutorial automático y la función de ayuda de la aplicación, explorando sus diversas funcionalidades, compartiendo entre ellos las habilidades adquiridas y formando a otros miembros del proyecto (investigadores postdoctorales, estudiantes de doctorado y estudiantes de grado) en el uso de esta herramienta (**objetivo 3**).

La **FASE 4** consistió en integrar los contenidos didácticos de autoevaluación en recursos digitales variados, dinámicos y atractivos para los estudiantes, empleando herramienta digital Wooclap. En la creación de estos contenidos digitales participaron profesores, investigadores postdoctorales y estudiantes de doctorado. Asimismo, también intervinieron en esta tarea algunos estudiantes del GIQ del curso 2023-24 (**objetivo 4**).

Una vez creados los recursos digitales de autoevaluación, se procedió a su implementación y validación como herramienta digital de autoevaluación en el aula (**FASE 5**) en el curso 2023-24 (para la asignatura TMA-GIQ) y en el curso 2024-2025 (para la asignatura TMA-GQ) (**objetivo 5**).

Finalmente, en la **FASE 6**, los resultados obtenidos en el proyecto y la metodología desarrollada han sido presentados a las universidades interesadas en el seguimiento de las actividades del proyecto (Universidad de Girona y Universidad Politécnica de Madrid) en un webinar organizado por el grupo de investigación y celebrado el día 11 de diciembre de 2024 de manera *on-line* (**objetivo 6**). En dicho webinar, se ha destacado la utilidad de las herramientas digitales de autoevaluación y de la metodología desarrollada y se ha contemplado la posibilidad de intercambio de este material docente.

3. Metodología empleada en el proyecto

La consecución de los objetivos se ha llevado a cabo mediante **9 actividades** realizadas en **6 fases**:

FASE 1. Fomento de la reflexión de los estudiantes sobre los contenidos de la asignatura:

- **Actividad 1.1.** Desarrollo de **actividades de reflexión** por parte de las profesoras de la asignatura TMA a través de preguntas directas durante el desarrollo de las clases, seminarios y tutorías y mediante la creación de un grupo de reflexión formado por 15 estudiantes del GIQ, del curso 2022-23.
- **Actividad 1.2. Elaboración de preguntas y respuestas clave** de cada bloque temático por parte de los estudiantes a través de un espacio de trabajo colaborativo en Google Drive.

FASE 2. Análisis de las preguntas y respuestas elaboradas por los estudiantes:

- **Actividad 2.1. Identificación de conceptos clave** de la asignatura por parte de las profesoras de TMA comparando las preguntas y respuestas elaboradas por los estudiantes (actividad 1.1.), con los contenidos didácticos de evaluación diseñados por ellas mismas. De este modo, se han **elaborado contenidos didácticos de autoevaluación** para los distintos bloques temáticos de la asignatura (**aguas, contaminación atmosférica, gestión de residuos, suelos y gestión ambiental**).
- **Actividad 2.2. Evaluación de los contenidos didácticos.** En primer lugar, por los estudiantes de doctorado miembros del proyecto que ya habían cursado la asignatura TMA-GIQ (pre-evaluación) y, posteriormente, por los estudiantes de GQ (curso 2023-24) mediante una encuesta de satisfacción realizada el día del examen de la asignatura (18/01/2024).

FASE 3. Formación en Wooclap (actividad 3.1.) como nueva herramienta online de colaboración: Debido a la ausencia de cursos específicos sobre esta plataforma, los profesores del proyecto llevaron a cabo su formación de manera autodidacta, explorando las diversas funcionalidades que ofrece Wooclap para la elaboración de preguntas de autoevaluación (preguntas tipo test, de ordenar, etiquetar una imagen, relacionar conceptos...) y para la configuración de la herramienta cuando se utiliza en el aula (identificación de usuarios, forma de mostrar los resultados, tiempo asignado a cada pregunta...). Además, los profesores desempeñaron un papel clave al formar a otros integrantes del proyecto, como investigadores postdoctorales, estudiantes de doctorado y de grado.

FASE 4. Integración de los contenidos didácticos de autoevaluación en distintas herramientas digitales (actividad 4.1.). Para la creación de este material docente digital de autoevaluación se ha utilizado la herramienta Wooclap y han participado los profesores, investigadores postdoctorales estudiantes de doctorado que forman parte del equipo del proyecto y un grupo de estudiantes del GIQ (curso 2023-24) que ha colaborado de forma voluntaria en esta tarea.

FASE 5. Implementación y validación de la herramienta de autoevaluación digital en el aula:

- **Actividad 5.1. Implementación del contenido digital en el aula** realizando actividades de autoevaluación en clase mediante el uso de la herramienta on-line interactiva Wooclap para las asignaturas TMA-GIQ (curso 2023-24) y TMA-GQ (curso 2024-25).
- **Actividad 5.2. Validación de las herramientas digitales** por los estudiantes de GIQ (curso 2023-24) mediante una encuesta de satisfacción realizada el día del examen de la asignatura (07/06/2024).

FASE 6. Transferencia de resultados (actividad 6.1.). Organización de un **webinar** para la presentación de los resultados obtenidos en el proyecto y la metodología desarrollada a las universidades interesadas en el seguimiento de las actividades del proyecto (Universidad de Girona y Universidad Politécnica de Madrid). Intercambio de material.

4. Recursos humanos

Durante el desarrollo del Proyecto han participado **un total de 23 integrantes** que han formado un **equipo de trabajo multidisciplinar e interdisciplinar**, lo que posibilitó la consecución exitosa de todos los objetivos establecidos en el proyecto.

Dentro de este grupo han participado un total de **6 profesores del departamento de Ingeniería Química y de Materiales de la Facultad de Ciencias Químicas**, con talentos y habilidades complementarias y que pertenecen a diferentes escalas, 3 catedráticos, 2 PTU y 1 PCD. Las profesoras del equipo que imparten las asignaturas de TMA (GQ y GIQ) han fomentado las actividades de reflexión en el aula (Fase 1), han analizado las preguntas y respuestas de autoevaluación elaboradas por los estudiantes (Fase 2), han desarrollado el material docente de autoevaluación y los cuestionarios de satisfacción (Fases 2 y 4), han implementado el contenido digital de autoevaluación en el aula en las asignaturas TMA-GIQ, curso 2023-24, y TMA-GQ, curso 2024-25 (Fase 5) y han contribuido a la difusión de los resultados del Proyecto (Fase 6).

En el equipo de trabajo también han participado **5 jóvenes investigadores (pre y postdoctorales)** que se han formado, junto con los profesores del Proyecto, en la herramienta digital Wooclap (Fase 3) y han intervenido activamente en el desarrollo de los contenidos digitales de autoevaluación (Fase 4). Además, como todos ellos han cursado una de las dos asignaturas de TMA han podido pre-evaluar los contenidos didácticos de autoevaluación (Fase 2) aportando su experiencia de antiguos alumnos/as.

Cabe destacar la importancia de la participación de un grupo de **estudiantes de Grado** que estaban cursando la asignatura TMA, curso 2022-23, y que se han involucrado activamente en las actividades de reflexión sobre los contenidos de la asignatura (Fase 1) y en la identificación de los conceptos clave mediante la elaboración de preguntas y respuestas (Fase 2) utilizando un entorno de trabajo colaborativo en Google Drive. Además, también han participado estudiantes de Grado, que inicialmente no pertenecían al grupo de trabajo de Proyecto y que estaban cursando la asignatura TMA-GIQ durante el curso 2023-2024, formándose en la herramienta on-line Wooclap (Fase 3) y elaborando parte de los contenidos digitales de evaluación (Fase 4).

Así mismo, la aportación de los **alumnos y alumnas de las asignaturas de TMA-GQ (37) y TMA-GIQ (74) del curso 2023-24 (Fase 5) en la realización de las encuestas de valoración** del material elaborado y utilizado durante dicho curso ha mostrado que, en términos generales e independientemente del grado cursado, el 92% de los encuestados está muy de acuerdo o totalmente de acuerdo con que el material desarrollado le ha ayudado a preparar el examen y sólo el 5% de los encuestados en el GIQ opinan que no les ha ayudado, lo que teniendo en cuenta que el 4% no ha usado el material, supone que sólo una persona no opina que le haya sido útil. El 100% de los de GQ y el 95% de los de GIQ recomendaron desarrollar material similar para otras asignaturas.

5. Desarrollo de las actividades

En la primera fase del proyecto (**FASE 1**), se promovió la **reflexión activa de los estudiantes** del GIQ **sobre los contenidos de la asignatura** TMA, impartida durante el segundo cuatrimestre del curso 2022-2023. Para ello, las profesoras responsables de la asignatura (A. Blanco, E. Fuente y A. Balea) desarrollaron diversas actividades de reflexión en el aula (**actividad 1.1**) a través de preguntas directas y abiertas durante el desarrollo de las clases, seminarios y tutorías, logrando involucrar a los estudiantes de manera significativa. Estas actividades culminaron en la formación de un grupo de trabajo integrado por las tres profesoras y 15 estudiantes de la asignatura (8 alumnas y 7 alumnos). Dentro de este grupo, los estudiantes identificaron las preguntas clave que permitían abordar los conceptos más relevantes de cada lección, elaborando además las respuestas correspondientes (**actividad 1.2**). Para ello se utilizó un espacio de trabajo colaborativo en Google Drive y reuniones entre estudiantes y profesoras. Estas actividades permitieron alcanzar el **objetivo 1** del proyecto integrando la reflexión de los estudiantes en el proceso de aprendizaje, evaluando su capacidad para identificar correctamente los aspectos clave de la asignatura y comprobando si habían adquirido las competencias definidas en la Guía Docente. Este proceso permitió detectar algunas desviaciones en su aprendizaje, que fueron corregidas para garantizar una adquisición sólida de las competencias recogidas en la Guía Docente y un mejor entendimiento de los conceptos clave de la asignatura.

En la **FASE 2**, se llevó a cabo un **análisis detallado de las preguntas y respuestas generadas por los estudiantes** en la actividad 1.1, con el objetivo de consolidar y validar los contenidos clave de la asignatura TMA. Este análisis se dividió en dos actividades principales que permitieron alcanzar el **objetivo 2** del proyecto:

- **Actividad 2.1:** Las profesoras de TMA compararon las preguntas y respuestas elaboradas por los estudiantes con los contenidos didácticos de evaluación diseñados previamente por ellas. Este proceso permitió identificar y ajustar los conceptos clave de la asignatura, asegurando su alineación con los objetivos formativos. Como resultado, se crearon materiales didácticos de autoevaluación que incluyeron una marca de agua para proteger los derechos de la autoría. Este material se organizó en bloques temáticos que se difundieron a los estudiantes a través del Campus Virtual de las asignaturas TMA-GQ y TMA-GIQ:
 - Bloque de aguas (ANEXO 1)
 - Bloque de contaminación atmosférica (parte 1) (ANEXO 2)
 - Bloque de contaminación atmosférica (parte 2) (ANEXO 3)
 - Bloque de gestión de residuos (ANEXO 4)
 - Bloque de suelos (ANEXO 5)
 - Bloque de gestión ambiental (ANEXO 6)
- **Actividad 2.2:** Los contenidos didácticos fueron sometidos a una evaluación inicial (pre-evaluación) por parte de los estudiantes de doctorado que participan en el proyecto y que ya habían cursado la asignatura. Posteriormente, estos materiales fueron evaluados por los estudiantes del GQ del curso 2023-24 mediante una encuesta de satisfacción, realizada el día del examen de la asignatura (18/01/2024). Esta encuesta fue elaborada por los profesores del Proyecto donde se incluyeron un total de 13 preguntas para la valoración de los aspectos técnicos (3 preguntas) y de

contenidos (10 preguntas) en una escala del 1 (nada de acuerdo) al 5 (totalmente de acuerdo). Además de las preguntas cerradas, se incluyó un campo abierto en el que los estudiantes pudieron expresar cualquier comentario adicional, sugerencia o propuesta de mejora sobre el material o la herramienta. Esta sección permitió obtener retroalimentación cualitativa que ha sido clave para ajustar y mejorar el material didáctico de autoevaluación (ANEXO 7). Los resultados medios obtenidos de la valoración de los aspectos técnicos y de contenidos docentes de autoevaluación se recogen en el ANEXO 8. La evaluación de los alumnos ha sido muy positiva tanto en los aspectos técnicos como los relacionados con el contenido, destacando el 81% de los encuestados la utilidad de elaborar un material similar para otras asignaturas.

Ante la falta de cursos específicos sobre **Wooclap**, los profesores del Proyecto optaron por formarse de manera autodidacta (**FASE 3**), explorando sus múltiples funcionalidades. Este aprendizaje incluyó tanto el diseño de preguntas de autoevaluación (como preguntas tipo test, actividades para ordenar, etiquetar imágenes o relacionar conceptos) como la configuración de la herramienta para su uso en el aula, abordando aspectos como la identificación de usuarios, la visualización de resultados y la asignación de tiempos a cada actividad. Además, los profesores asumieron un papel fundamental formando a otros miembros del proyecto en esta herramienta digital de evaluación, entre ellos investigadores postdoctorales, estudiantes de doctorado y alumnos de grado.

En la **FASE 4** del Proyecto, los **contenidos didácticos de autoevaluación se integraron en la plataforma digital Wooclap para su implementación en el aula**. La creación de este material docente contó con la participación activa de profesores, investigadores postdoctorales, estudiantes de doctorado del equipo del proyecto y un grupo de estudiantes voluntarios del GIQ (curso 2023-24). Este enfoque colaborativo permitió diseñar recursos interactivos de autoevaluación (ANEXO 9) donde se incluyen más de 100 preguntas que permiten fortalecer el proceso de aprendizaje y la autoevaluación de los estudiantes, fomentando un ambiente activo y lúdico (gamificación).

En la **FASE 5** del Proyecto, se llevó a cabo la **implementación y validación de las herramientas de autoevaluación digital diseñadas**, integrando las actividades en el contexto real de las aulas. Esta fase se estructuró en dos actividades principales:

- **Actividad 5.1:** Implementación de los contenidos digitales en el aula.
Se introdujeron las actividades de autoevaluación basadas en la herramienta interactiva Wooclap en las asignaturas TMA-GIQ (curso 2023-24) y TMA-GQ (curso 2024-25). Estas actividades se llevaron a cabo durante las sesiones de clase, promoviendo la participación activa de los estudiantes y fomentando el aprendizaje interactivo a través de preguntas dinámicas, retroalimentación inmediata y análisis en tiempo real de sus respuestas.
- **Actividad 5.2:** Validación de las herramientas digitales.
Para evaluar la efectividad y aceptación de las herramientas utilizadas, los estudiantes del GIQ (curso 2023-24) participaron en una encuesta de satisfacción (ANEXO 10), realizada el día del examen de la asignatura (07/06/2024). Esta encuesta fue contestada por 74 estudiantes, y los resultados obtenidos se recogen en el ANEXO 11. De este modo, fue posible recopilar sus percepciones sobre la

utilidad, accesibilidad y efectividad del material docente de autoevaluación desarrollado. La evaluación realizada por los estudiantes arrojó resultados muy positivos. El 86% de los encuestados mostró su satisfacción con el material docente, destacando especialmente su utilidad para preparar el examen de la asignatura.

En la **FASE 6** del Proyecto se organizó un **webinar para la presentación de los resultados obtenidos y la metodología desarrollada** a las universidades interesadas en el seguimiento de las actividades del proyecto. El webinar se celebró el día 11 de diciembre de 2024 a través de Google Meet, al que asistieron los miembros del grupo de investigación del proyecto y los profesores de la Universidad de Girona y de Universidad Politécnica de Madrid (ANEXO 12). En el webinar se presentaron los resultados del proyecto (ANEXO 13), incluyendo la metodología desarrollada, algún ejemplo del material docente de autoevaluación desarrollado y la valoración y el aprovechamiento que han realizado los alumnos de grado de la asignatura TMA (GQ y GIQ) en el curso 2023-2024.

Además, esta metodología desarrollada para las asignaturas de TMA objeto del presente proyecto se podrá aplicar en varias asignaturas de los Grados de Ingeniería Química, Química y Ciencia y Tecnología de los Alimentos, donde se podrán desarrollar contenidos de autoevaluación de cualquier otra asignatura, grado y másteres en los que los profesores imparten docencia: Grado de Ingeniería Química (Ingeniería Ambiental), Grado en Química (Ingeniería Química), Grado en Ciencia y Tecnología de los Alimentos (Ingeniería Alimentaria), Máster de Biotecnología Industrial y Ambiental (Bioenergía y Biorrefinerías) y Master en Ingeniería Química: Ingeniería de Procesos (Ingeniería Alimentaria, Seguridad).

6. Anexos

- ANEXO 1: Material docente de autoevaluación relativo al bloque de aguas.
- ANEXO 2: Material docente de autoevaluación relativo al bloque de contaminación atmosférica (parte 1).
- ANEXO 3: Material docente de autoevaluación relativo al bloque de contaminación atmosférica (parte 2).
- ANEXO 4: Material docente de autoevaluación relativo al bloque de gestión de residuos.
- ANEXO 5: Material docente de autoevaluación relativo al bloque de suelos.
- ANEXO 6: Material docente de autoevaluación relativo al bloque de gestión ambiental.
- ANEXO 7: Material docente de autoevaluación desarrollado mediante la herramienta Wooclap.
- ANEXO 8: Cuestionario de valoración sobre el material docente desarrollado en la asignatura TMA del Grado en Química dentro del Proyecto de Innovación Docente nº76 (convocatoria 2023/2024).
- ANEXO 9: Cuestionario de valoración sobre el material docente desarrollado en la asignatura TMA del Grado en Ingeniería Química dentro del Proyecto de Innovación Docente nº76 (convocatoria 2023/2024).
- ANEXO 10: Resultados del cuestionario de valoración sobre el material docente desarrollado en la asignatura TMA del Grado en Química dentro del Proyecto de Innovación Docente nº76 (convocatoria 2023/2024).
- ANEXO 11: Resultados del cuestionario de valoración sobre el material docente desarrollado en la asignatura TMA del Grado en Ingeniería Química dentro del Proyecto de Innovación Docente nº76 (convocatoria 2023/2024).
- ANEXO 12: Webinar para transferencia de resultados del proyecto.
- ANEXO 13: Presentación final de los resultados del Proyecto de Innovación Docente nº76 (convocatoria 2023/2024) realizada en el Webinar del 11 de diciembre de 2024.

ANEXO 1: MATERIAL DOCENTE DE AUTOEVALUACIÓN RELATIVO AL BLOQUE DE AGUAS

TEMA 3: CONTAMINACIÓN DEL AGUA: ORIGEN Y CONSECUENCIAS

1. ¿Qué es la contaminación del agua?

Alteración de las características del agua debido a sus diversos usos, por lo que quedan inhabilitadas para determinados fines. Es una modificación de su calidad que perjudica algunos usos (actuales o futuros).

2. Explique los parámetros significativos de la contaminación

FÍSICOS

- ✓ **Sólidos:** totales, suspensión, disueltos, orgánicos e inorgánicos.
- ✓ **Color, olor y sabor:** presencia de sustancias químicas evaluadas a través de medidas biológicas.
- ✓ **Temperatura:** influencia en reacciones químicas y biológicas.
- ✓ **Turbidez:** es la medida de las propiedades de transmisión de luz del agua, causada por materia en suspensión.
- ✓ **Gases disueltos** (ej: Oxígeno)
- ✓ **Conductividad:** capacidad de la solución para conducir la electricidad y depende de las sales en disolución.

QUÍMICOS

Inorgánicos

- ✓ **Alcalinidad y acidez:** capacidad amortiguadora del agua en la que afecta la presencia de sales y el sistema carbónico-carbonato.
- ✓ **Dureza:** debida a la presencia de Ca^{2+} y Mg^{2+} .
- ✓ **Metales pesados:** importancia de la forma en la que se encuentran los metales.
- ✓ **pH:** medida de la intensidad acida o básica de una solución, debe estar alrededor de 7.
- ✓ **Contenido de nutriente** (nitrógeno, fosforo, sulfuros, cianuros, fluoruros y cloruros)

Orgánicos

- ✓ **Materia orgánica:** demanda química de oxígeno (DQO) y demanda biológica de oxígeno (DBO), Carbono orgánico total (COT) y demanda teórica de oxígeno (DTeO).
- ✓ **Aceites y grasas:** formación de película que afecta la vida biológica, impide la oxigenación del agua.
- ✓ **Detergentes:** formación de espumas, películas, contenido en fosfato y boro.
- ✓ **Fenoles y clorofenoles.**
- ✓ **Pesticidas y herbicidas:** escorrentía o industria alimentaria .
- ✓ **Policlorobifenilos (PCBs):** tienen elevada toxicidad y dan lugar a dioxinas .
- ✓ **Dioxinas:** grupo de compuestos altamente contaminante, tóxicos, persistentes y cancerígenos.

BIOLÓGICOS

- ✓ **Microorganismos patógenos:** bacterias, virus y protozoos.

- ✓ **Coliformes totales (CT):** microorganismos del tracto intestinal humano (crecimiento a 35°C).
- ✓ **Coliformes fecales (CF):** microorganismos del tracto intestinal humano (crecimiento a 44,5°C).
- ✓ **Parásitos:** viven a expensas de otro organismo.
- ✓ **Saprófitos:** descomponen la materia orgánica muerta para alimentarse, se origina nueva materia viva, productos de desecho y formación de flóculos.
- ✓ **Aerobios:** captan el O₂ disuelto en el agua.
- ✓ **Anaerobios:** no emplean O₂.
- ✓ **Facultativos:** se adaptan a ambas condiciones.

3. ¿A qué se refiere DQO Y DBO?

El **DQO** es la demanda química de oxígeno, y se refiere al oxígeno consumido por una reacción química. El **DBO** es la demanda biológica de oxígeno. Es el O₂ que los microorganismos consumen al degradar la materia orgánica.

4. Explique los tipos de contaminantes de agua

FÍSICOS

- ✓ Ramas/Lodos
- ✓ Arena
- ✓ Sólidos
 - En suspensión: Dan turbidez, impidiendo el paso de luz
 - Orgánicos: Relacionados con DQO y DBO.
 - Totales.
 - Disueltos: Se detectan con la conductividad

QUÍMICOS

- ✓ Productos farmacéuticos
- ✓ Ácidos, grasas
- ✓ Contaminantes emergentes: Medicinas, cremas, pesticidas
- ✓ Minerales (Mg, Ca)

BIOLÓGICOS

- ✓ Microorganismos
- ✓ Patógenos
- ✓ Materia orgánica disuelta

5. Si la DBO es 100% biodegradable, ¿por qué no se logra eliminar por completo?

Se debe al **tiempo** al que se debe someter la operación. A mayor tiempo de retención hidráulico (TRH), mayor eficacia del tratamiento. Sin embargo, para grandes caudales no siempre se puede trabajar con TRH óptimos.

6. ¿Qué son contaminantes emergentes?

Los contaminantes emergentes son sustancias químicas que han sido identificadas recientemente como agentes contaminantes en el medio ambiente, pero que aún no están reguladas o monitoreadas de manera rutinaria. Estos contaminantes incluyen una amplia gama de compuestos químicos, como productos farmacéuticos, productos químicos industriales, productos de cuidado personal, productos de limpieza, hormonas, pesticidas, productos de degradación de otros contaminantes y muchos otros compuestos que se encuentran en el medio ambiente. Los contaminantes emergentes pueden provenir de diversas fuentes, como efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales, escorrentía agrícola, lixiviados de vertederos, efluentes industriales, descargas de embarcaciones y otros procesos humanos.

Los contaminantes emergentes son motivo de preocupación debido a que se ha demostrado que pueden tener efectos negativos en la salud humana, la vida acuática y otros organismos del medio ambiente. Muchos de estos contaminantes son persistentes y bioacumulativos, lo que significa que pueden acumularse en el medio ambiente y en los organismos vivos a lo largo del tiempo. Además, algunos de ellos pueden tener efectos hormonales o disruptores endocrinos, lo que significa que pueden interferir con los sistemas hormonales de los organismos y causar efectos adversos en la salud reproductiva y el desarrollo.

La identificación y monitorización de los contaminantes emergentes es un desafío debido a la falta de regulaciones y estándares establecidos para muchos de ellos. Sin embargo, la investigación y la cuantificación continúan para comprender mejor los efectos de estos contaminantes sobre los ecosistemas y sobre la salud, y para desarrollar estrategias de mitigación adecuadas. Esto puede incluir tecnologías de tratamiento avanzadas en plantas de tratamiento de aguas residuales, regulaciones más estrictas en la producción y uso de productos químicos, y concienciación pública sobre la importancia de reducir la emisión de contaminantes emergentes al medio ambiente.

7. Diferencias entre una sustancia prioritaria y una preferente

<https://www.boe.es/eli/es/rd/2015/09/11/817/con>

Sustancia preferente: Sustancia que presenta un riesgo significativo para las aguas superficiales españolas debido a su especial toxicidad, persistencia y bioacumulación o por la importancia de su presencia en el medio acuático. La relación de sustancias preferentes figura en el anexo V del RD adjunto.

Sustancia prioritaria: Sustancia que presenta un riesgo significativo para el medio acuático comunitario, o a través de él, incluidos los riesgos de esta índole para las aguas utilizadas para la captación de agua potable, y reguladas a través del artículo 16 de la Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas (Directiva Marco del Agua, DMA). Entre estas sustancias se encuentran las sustancias peligrosas prioritarias. La relación de sustancias prioritarias figura en el anexo IV de este real decreto.

TEMA 4: Tratamiento y depuración aguas residuales + Tratamiento de lodos

1. Realice el esquema de una depuradora de agua moderna/tradicional (EDAR= Estación de depuración de aguas residuales) (esto lo tenéis que ir haciendo en casa con los apuntes y el ejemplo que os hemos dado en clase)

2. Indique formas de optimizar la eliminación de PO_4^{3-}

Cuando sea necesario aumentar en un 10-20% la eliminación de fósforo se podría añadir un coagulante ($FeCl_3$) antes de la sedimentación secundaria, para precipitar los fosfatos y que sean eliminados con los lodos logrando así separar los lodos. Cuando se requiere una mayor eliminación, se proceden a métodos más específicos de tratamientos biológicos para eliminación de nutrientes.

La eliminación de fósforo por tratamiento biológico se refiere al uso de microorganismos para reducir la cantidad de fósforo presente en aguas residuales. Existen varios métodos de eliminación biológica de fósforo, siendo los más comunes el proceso de eliminación biológica de fósforo y la eliminación biológica simultánea de nitrógeno y fósforo.

En el primer caso, los microorganismos se utilizan para convertir el fósforo soluble en fosfato en una forma insoluble que puede ser eliminada a través de la sedimentación. Este proceso se logra mediante la selección de ciertos tipos de bacterias, que tienen la capacidad de almacenar el fósforo en forma de polifosfatos. Se requiere tener un alto ratio C/P; se mantienen condiciones anaeróbicas en la zona inferior del reactor y condiciones aeróbicas en la zona superior para promover el crecimiento de las bacterias acumuladoras de fósforo.

El proceso de eliminación simultánea de N y P se lleva a cabo durante la desnitrificación. Las relaciones típicas de C:N:P recomendadas varían según el tipo de proceso, pero generalmente están en el intervalo de 7-12:1:1 Los niveles típicos de OD recomendados son de 2-4 mg/L.

3. Diferencia entre aguas residuales urbanas e industriales → Diferencias en el diseño de depuradoras para aguas residuales urbanas e industriales

Las **aguas residuales urbanas (ARU)** son parecidas en composición. El tratamiento de cada una de ellas es similar. Tiene residuos sólidos de gran tamaño (ej. ramas). El proceso de depuración tiene una estructura similar y está muy bien conocido y desarrollado en la bibliografía. Básicamente, en todos los casos se lleva a cabo un pretratamiento encaminado a eliminar sólidos de gran tamaño y arenas para proteger a los demás equipos, un tratamiento primario para eliminar sólidos en suspensión, un tratamiento biológico aerobio y un terciario que depende de la disposición o uso posterior del agua.

Las características y composición de las **aguas residuales industriales (ARI)** varían mucho según el proceso en el que se generan. En general, las ARI no suele presentar sólidos de gran tamaño. El tratamiento empleado es muy diferente según la composición del agua y los requerimientos de calidad del agua depurada o regenerada en cada caso. En algunos casos se busca que la calidad del agua tratada sea similar a la urbana para poder verterla a la EDAR cumpliendo la legislación, en otros casos se busca cerrar el circuito de aguas obteniendo un agua tratada de calidad similar a la requerida por el proceso, lo que conlleva un tratamiento más exhaustivo. Las depuradoras son todas diferentes, se diseñan con la ayuda del BREF del sector, se verifican con los estudios recogidos en la bibliografía y se corrobora su funcionamiento en una planta piloto.

4. ¿Qué es el bulking?

El término "bulking" en el contexto de un tratamiento biológico se refiere a un fenómeno que ocurre cuando hay un aumento excesivo en la biomasa de microorganismos en el sistema de tratamiento o una proliferación de bacterias filamentosas, lo que resulta en la formación de flóculos grandes y poco densos que no sedimentan adecuadamente y pueden afectar negativamente la eficiencia del proceso de tratamiento. En ocasiones, estos flóculos se acumulan en la superficie reteniendo el aire y formando unas espumas que desbordan los tanques de lodos activos.

El bulking puede ser causado por diversos factores, como la presencia de sustancias químicas inhibitorias, cambios en las condiciones ambientales del sistema, desequilibrios en la relación entre los microorganismos presentes en la biomasa, o la acumulación de sustancias inertes o materia orgánica no biodegradable en el sistema de tratamiento. Para controlar el bulking hay que considerar: ajustes en las condiciones de operación del sistema, la adición de productos químicos para mejorar la sedimentación de la biomasa, la optimización del equilibrio nutricional, o la relación entre los microorganismos presentes en la biomasa, o la eliminación de sustancias inhibitorias o inertes del sistema de tratamiento. La supervisión y el control del sistema de tratamiento y la optimización de los parámetros operativos, son clave para prevenir o mitigar el bulking y mantener un rendimiento eficiente del tratamiento biológico en el tratamiento de aguas residuales.



5. ¿Qué significa el MLSS? ¿y MLSSV?

MLSS son los mg/L de sólidos en suspensión presentes en la mezcla de lodo biológico. Se obtienen a partir del peso seco (secado en estufa o termobalanza a 105°C) de la torta retenida al pasar el agua a través de un filtro de fibra de vidrio estandarizado.

MLSSV es la fracción de dichos sólidos en suspensión que es volátil expresada en mg/L; corresponden a la fracción orgánica de los sólidos en suspensión. Se determinan por diferencia entre los MLSS y los sólidos en suspensión fijos, que son los que permanecen tras incinerar la torta retenida en el filtro estandarizado en una mufla a $550\pm 50^{\circ}\text{C}$.

6. ¿Cuál es el objetivo del tratamiento secundario?

Eliminar mediante tratamientos con microorganismos la materia orgánica biodegradable disuelta presente en las aguas residuales.

7. Mencione los 4 factores que son importantes en el diseño adecuado de un proceso biológico para el tratamiento de aguas residuales

- I. Tiempo de retención hidráulica y edad del fango
- II. Relación F/M: Alimentación (DQO)/cantidad de microorganismos
- III. Dimensiones del reactor: Altura, superficie, volumen.
- IV. Concentración de microorganismos.

8. ¿Qué es un sistema de tratamiento de tipo aerobio?

- ✓ Tratamiento biológico en presencia de oxígeno donde los microorganismos aerobios descomponen la materia orgánica en CO_2 y H_2O .

9. ¿Qué es un sistema de tratamiento de tipo anaerobio?

- ✓ Tratamiento biológico en ausencia de oxígeno donde los microorganismos descomponen la materia orgánica produciendo CH_4 que, se aprovecha para obtener energía.

10. Compare el tratamiento biológico aerobio con el anaerobio

- ✓ El aerobio:
 - Es más eficaz reduciendo DBO (reduce hasta un 95% la DBO) del agua residual que el anaerobio.
 - Requiere aireación para aportar O_2 → Tiene un mayor gasto energético.
 - Requiere una mayor adición de nutrientes.
 - Produce más lodos que los tratamientos anaerobios.
 - Puede presentar problemas debidos a la proliferación de bacterias filamentosas (bulking).
- ✓ El anaerobio:
 - Es muy útil cuando la DBO es elevada (>3000 mg/L).
 - Menos eficaz que aerobio reduciendo DBO (reducción hasta un 85%)
 - Se complementa con el tratamiento aerobio del lodo digerido.
 - Mayor coste de inmovilizado pero menor coste de tratamiento, pues no requiere aporte de O_2 .
 - Requiere un control estricto de pH y S, problemas de competición entre sulfuroductoras y metanogénicas.
 - Menor generación de lodos y menor requerimiento de nutrientes.
 - Puesta en marcha costosa y lenta.

11. ¿Cómo se cuantifica la materia orgánica y la materia inorgánica?

Los sólidos orgánicos e inorgánicos se determinan por métodos gravimétricos. El método se basa en la medida del cambio de masa de una muestra antes y después de la eliminación o combustión de los componentes orgánicos o inorgánicos. Por ejemplo, para la cuantificación de sólidos orgánicos en una muestra de agua, se puede realizar una evaporación del agua (105°C) para determinar los sólidos totales; una combustión a alta temperatura (550°C) para eliminar los componentes orgánicos y así cuantificar los sólidos inorgánicos (cenizas). La diferencia entre los sólidos totales y los inorgánicos permite determinar el contenido de sólidos orgánicos.

La cantidad de sales disueltas se puede cuantificar también en función de la conductividad.

12. ¿Qué microorganismos son necesarios para el proceso de lodos activos? ¿Qué microorganismos se emplean en el proceso de lodos activos?

Se emplea una composición heterogénea de bacterias/hongos/protozoos necesarios para obtener la eliminación deseada.

13. ¿Qué necesitan los microorganismos para desarrollarse? ¿Cuál es la relación C-N-P?

Necesitan macronutrientes, como carbono, nitrógeno y fósforo. La relación óptima es 100-5-1. También necesitan micronutrientes, como S, Na, K, ...

14. ¿Qué es un MBBR (Reactor de Lecho Móvil)?

Un reactor biológico de lecho móvil es un tipo de sistema de tratamiento de aguas residuales que utiliza un soporte de lecho móvil para el crecimiento y actividad de microorganismos que biodegradan la materia orgánica presente en las aguas residuales. En este tipo de reactor, los microorganismos forman una biopelícula sobre el soporte de lecho móvil, lo que permite una mayor concentración y actividad de los microorganismos en comparación con los sistemas de lodos activados convencionales.

El soporte de lecho móvil puede ser una matriz o material plástico especializado que proporciona una superficie adherente para que los microorganismos se adhieran y formen una biopelícula. Este soporte puede moverse dentro del reactor, ya sea mediante agitación mecánica o mediante un flujo de agua que lo haga circular, lo que permite una mayor oxigenación y contacto entre los microorganismos y las aguas residuales a tratar

15. Indique las modificaciones que se pueden realizar a un reactor biológico con la finalidad de tratar mayor cantidad de DQO

- ✓ Aumentar **cantidad** de microorganismos. Existe un límite máximo.
- ✓ **Fijar** los microorganismos a un soporte o flocularlos permite aumentar la cantidad de microorganismos en el reactor, al aumentar su tiempo de retención celular.
- ✓ Convertir en **MBBR**.

16. Indicar la importancia de la nitrificación y la desnitrificación

-**Nitrificación:** Permite mineralizar la materia orgánica (urea, proteínas), oxidar el NH_4 y NO_2 y transformarlos en nitratos.

-**Desnitrificación:** Se eliminan NO_3 transformándolos en N gas, con el fin de evitar un exceso de nutrientes de N en el efluente: Se lleva a cabo cuando el efluente tiene alta concentración de N en formas como NO_3 .

17. ¿Cómo se clasifican los reactores biológicos aerobios?

- ✓ Según características de biomasa: La biomasa puede estar fija o en suspensión.
- ✓ Según cantidad de carga: Puede ser alta o baja.
- ✓ Según tiempo de contacto: contacto-estabilización, lodos activos convencional, aeración prolongada.

De biomasa en suspensión:

- Lodos activos.
- Lagunas aireadas.
- Estanques de estabilización.

De biomasa fija:

- Biofiltros o filtros percoladores.
- Reactor de lecho móvil.
- Biodiscos.
- Filtros de turba.

- Filtros verdes.

18. Si el efluente tiene una concentración de NH_4^+ alta ¿Qué se puede hacer?

Se tiene que eliminar mediante la optimización del tratamiento secundario o por su eliminación en el tratamiento terciario, mediante una nitrificación seguida de una desnitrificación. Habitualmente se lleva a cabo una etapa anaerobia de desnitrificación seguida de una aerobia de nitrificación del NH_4 y se recircula el agua tratada al proceso de desnitrificación. De esta forma se mejora la eficacia de la nitrificación.

19. ¿Qué sustrato utilizan las bacterias en el tratamiento terciario?

Las bacterias se alimentan de materia orgánica biodegradable, y otros sustratos como NH_4 que oxidan empleando diferentes oxidantes en función de la etapa del proceso. En la nitrificación, las bacterias nitrificantes, quimiolitótrofas aerobias estrictas emplean como sustrato el amoníaco y como oxidante O_2 , y las Nitrobacter emplean los nitritos generados como sustrato y el O_2 como oxidante, mientras que ambas pueden coexistir otras bacterias que degradan la materia orgánica y compuestos nitrogenados como urea, proteínas, etc. En la desnitrificación, las bacterias heterótrofas facultativas, en condiciones de escasez de O_2 , emplean los nitratos como oxidante y la materia orgánica biodegradable como sustrato. Si no hay suficiente DBO, se debe añadir una fuente de C, por ejemplo, glicerol, algún residuo o agua residual de elevada DBO, etc, para tener DBO en concentraciones adecuadas esto dependerá de la cantidad de DBO que llegue al tratamiento terciario.

20. ¿Qué sustrato utilizan las bacterias en el tratamiento secundario?

Las bacterias tienen como sustrato la materia orgánica biodegradable soluble (disminuye la DBO) y como oxidante O_2 .

21. Esquema del tratamiento terciario para la regeneración para aguas de alta calidad

- I. Coagulación/Floculación.
- II. Decantador Lamelar.
- III. Filtro de Arena.
- IV. Ultrafiltración.
- V. Ósmosis Inversa.
- VI. Desinfección con UV.
- VII. Desinfección con Cloro.

22. ¿En qué se diferencian la nanofiltración y la ósmosis inversa?

La nano-filtración elimina iones de gran tamaño pero permite el paso de iones monovalentes mientras que la ósmosis no permite el paso de ningún ión. La ósmosis tiene un tamaño de poro mucho menor, por lo que es capaz de eliminar iones monovalentes.

23. Esquema de una planta de regeneración para aguas de riego

No se lleva a cabo la desnitrificación ni la eliminación de fosfatos, solo hay desinfección y eliminación de sólidos. Esto se debe a que los nutrientes son necesarios, y dan valor al agua de riego.

24. ¿Qué tratamiento de estabilización de lodos propondría para su uso como enmienda en una región con un suelo muy ácido si la depuradora es pequeña?

Si la depuradora es pequeña, se realiza la estabilización con cal, con un tiempo de retención aproximado de 30 minutos.

25. Problemas de digestión anaerobia

Los tratamientos anaerobios implican la degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno y pueden enfrentar varios problemas:

- **Variabilidad en la alimentación:** La composición de la corriente a tratar puede variar lo que afecta a la eficiencia del proceso anaerobio. Por ejemplo, la concentración de sólidos suspendidos totales (SST), la relación carbono:nitrógeno:fósforo (C:N:P), y la presencia de inhibidores como grasas, aceites y productos químicos pueden influir en la capacidad del proceso anaerobio para degradar la materia orgánica.
- **Toxicidad:** Algunos compuestos presentes en el agua residual pueden ser tóxicos para los microorganismos anaerobios, lo que puede inhibir su actividad y reducir la eficiencia del proceso. Por ejemplo, compuestos como metales pesados, productos químicos industriales, pesticidas y productos farmacéuticos pueden ser tóxicos para los microorganismos anaerobios y afectar negativamente su capacidad para degradar la materia orgánica.
- **Control de la carga orgánica:** El control adecuado de la carga orgánica es esencial en los procesos anaerobios para garantizar un rendimiento óptimo. Una carga orgánica alta puede resultar en una acumulación de sólidos y productos intermedios no deseados, lo que puede afectar negativamente la eficiencia del proceso. Por otro lado, una carga orgánica baja puede resultar en una utilización ineficiente del reactor y una capacidad subutilizada.
- **pH y alcalinidad:** Los procesos anaerobios son sensibles a los cambios en el pH y la alcalinidad del agua residual. Un pH inadecuado puede afectar la actividad de los microorganismos anaerobios y reducir la eficiencia del proceso. Además, la alcalinidad es necesaria para mantener un ambiente adecuado para el crecimiento de los microorganismos anaerobios y evitar la acidificación del medio.
- **Requerimientos de tiempo de retención hidráulica (TRH):** Los procesos anaerobios requieren TRH adecuado para que los microorganismos tengan suficiente tiempo para degradar la materia orgánica. Si el TRH es demasiado corto, la degradación de la materia orgánica puede ser incompleta, lo que resulta en un efluente de baja calidad. Por otro lado, si el TRH es demasiado largo, puede resultar en un reactor de mayor tamaño y costos operativos más altos.
- **Requerimientos de temperatura:** La temperatura óptima para el tratamiento está entre 35 y 45 °C.

- Baja producción de metano. Competencia entre bacteria metanogénicas y sulforeductoras.

26. ¿Cuándo es necesario colocar un reactor anaerobio seguido de uno aerobio?

Cuando el nivel de DQO es muy elevado ($\gg 2000$ o 3000 ppm) se emplea un reactor **anaerobio**. Sin embargo, este no podrá degradar toda la materia orgánica y se debe llevar el efluente a un reactor **aerobio** que culmina la degradación.

27. ¿Qué es una laguna aireada?

Una laguna aireada es un tipo de tratamiento biológico de aguas residuales que utiliza la aireación como proceso principal para la remoción de contaminantes. Consiste en un cuerpo de agua superficial, generalmente de forma rectangular o circular, que se encuentra equipado con sistemas de aireación que suministran oxígeno al agua para promover la actividad de microorganismos aeróbicos que degradan la materia orgánica presente en las aguas residuales.

28. Si el biogás contiene un contaminante (p.e. azufre), proponga un método para la eliminación

El azufre es un componente comúnmente presente en el biogás, especialmente cuando se produce a partir de fuentes como estiércol, residuos agrícolas o lodos de depuradoras. La presencia de azufre en el biogás puede tener efectos negativos en su uso y aplicación, ya que puede causar la corrosión de los equipos y generar emisiones de gases contaminantes durante la combustión. Por lo tanto, es importante eliminar o reducir el contenido de azufre del biogás antes de su uso.

Hay varias técnicas de tratamiento que se pueden utilizar para eliminar o reducir el azufre del biogás. Algunas de las opciones comunes son:

- **Desulfurización biológica:** En este proceso, se utilizan microorganismos para convertir el azufre presente en el biogás en compuestos no corrosivos o volátiles, como sulfato o sulfuro de hidrógeno (H_2S). Este proceso se realiza en reactores biológicos específicos, donde los microorganismos utilizan el azufre como fuente de energía.
- **Adsorción química:** Se utilizan sustancias químicas adsorbentes, como hidróxido de calcio (cal), hidróxido de sodio (soda cáustica) o carbón activado, para atrapar y eliminar el azufre del biogás. El biogás se hace pasar a través de un lecho de adsorbente, que captura el azufre, dejando un biogás con un contenido de azufre reducido.
- **Oxidación química:** En este proceso, se utiliza un agente oxidante, como peróxido de hidrógeno (agua oxigenada) o permanganato de potasio, para oxidar el azufre presente en el biogás y convertirlo en compuestos solubles o gaseosos que pueden ser separados y eliminados.
- **Absorción con líquidos:** Se utiliza un líquido absorbente, como amina, para capturar el azufre presente en el biogás. El biogás se hace burbujear a través del líquido absorbente, que reacciona con el azufre y lo captura, permitiendo que el biogás tratado salga con un contenido de azufre reducido.
- **Adsorción física:** En este proceso, se utiliza un adsorbente físico, como zeolitas, para atrapar y eliminar el azufre del biogás. El biogás se hace pasar a través de una cama de

adsorbente, que retiene el azufre y permite que el biogás tratado salga con un contenido de azufre reducido.

Diferencias entre los 3 tipos principales de depuradora

Existen muchas respuestas posibles, dependerá de cada caso particular.

	Tradicional	Moderna	Pequeña
Tratamiento Biológico	Lodos activos	Reactor A2O	Biodiscos
Tratamiento Lodos	Espesamiento por sedimentación (lodos primarios) y flotación (lodos secundarios), Digestión Anaerobia, deshidratación mecánica (filtros banda o centrífuga) y térmica de los lodos digeridos, compostaje		Digestión anaerobia o estabilización con cal (para suelos ácidos)
Tratamiento terciario	nitrificación-desnitrificación y cloración	Regeneración del agua mediante filtración en arena, ultrafiltración y desinfección con UV y/o HClO. Si en el secundario se ha llevado a cabo un A2O o si el agua regenerada es para riego, no se lleva a cabo la nitrificación/desnitrificación	Solo incluye una laguna de afino

**ANEXO 2: MATERIAL DOCENTE DE
AUTOEVALUACIÓN RELATIVO AL
BLOQUE DE CONTAMINACIÓN
ATMOSFÉRICA (PARTE 1)**

TEMA 5: CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Definiciones y conceptos básicos de contaminación atmosférica

1. Defina contaminación atmosférica

La **contaminación atmosférica** se refiere a la alteración en el contenido de materia y/o energía (principalmente ruido y radiaciones ionizantes) del aire con respecto a su estado natural que implican riesgo, daño o molestia grave para las personas, ecosistemas o bienes materiales. Algunos de los aspectos destacados de la contaminación atmosférica incluyen:

- Presencia de materia ajena a la composición natural del aire: Se caracteriza por la introducción de sustancias que no forman parte de la composición natural del aire (ejemplo. SO₂ o hidrocarburos inquemados). Estos contaminantes pueden provenir de diversas fuentes, como la emisión industrial, vehicular o actividades agrícolas.
- Variación en la concentración de los constituyentes naturales: Incluye cambios en la concentración de elementos naturales del aire, como el dióxido de carbono (CO₂), que pueden resultar de actividades humanas como la quema de combustibles fósiles.

Otras formas de contaminación atmosférica abarcan fenómenos adicionales:

- **Variación en la temperatura**: Ocurre debido a la presencia de estructuras urbanas y al consumo intensivo de energía, dando lugar a fenómenos como las "islas de calor" en entornos urbanos.
- **Modificación en las propiedades de absorción del aire**: Se refiere a cambios en las propiedades de absorción del aire en determinadas bandas del espectro electromagnético debido a alteraciones en su composición.
- **Reacciones inducidas por la presencia de contaminantes**, como la destrucción del ozono estratosférico.

2. Indique ejemplos de tipos de focos emisores de contaminación

Los focos emisores pueden ser **fuentes antropogénicas**, es decir, aquellos relacionados con la actividad humana, o **fuentes naturales**, como volcanes, incendios forestales y descomposición de materia orgánica en suelos y océanos.

Los **focos emisores antropogénicos de contaminación** se clasifican en fijos (o estacionarios) y móviles:

1. **Focos de contaminación fijos o estacionarios**: Pueden ser:
 - Individuales (ejemplo. chimeneas en las industrias)
 - Difusos y dispersos (ejemplo. sistemas de calefacción y refrigeración).
2. **Focos de contaminación móviles**: Todos los medios de transporte (automóviles, barcos, aviones, etc.)

3. Indique qué es la concentración de emisión, la emisión másica, el factor de emisión y la concentración de inmisión.

La **concentración de emisión** se refiere a la cantidad de contaminantes liberados por una fuente emisora, es decir, se refiere a la concentración medida en el foco que genera la emisión. Se mide conforme a métodos normalizados y suele expresarse en miligramos por metro cúbico (mg/Nm³). La **emisión másica** es la masa de contaminante emitido por unidad de tiempo

(ejemplo. p.ej. kg de SO₂/hora) y el **factor de emisión** es la masa de contaminante emitido por unidad de bien o servicio producido.

La **concentración de inmisión** se refiere a la cantidad de contaminantes presentes en el aire ambiental en un lugar específico, es decir, la cantidad de contaminantes a la que las personas y el medio ambiente están expuestos. Se mide en unidades específicas según el tipo de contaminante, y suele expresarse en microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$).

4. Indique los factores de los que depende la concentración de inmisión.

Los principales factores que influyen en la **concentración de inmisión** incluyen:

1. **Emisión:** La cantidad de contaminantes liberados por fuentes antropogénicas como procesos industriales, vehículos y otras actividades humanas influye directamente en la concentración de inmisión. Cuanto mayor sean las emisiones en una zona determinada, mayor será la contribución a la concentración de contaminantes en el aire circundante.
2. **Difusión de los contaminantes:** La forma en que los contaminantes se dispersan y se mueven en la atmósfera, conocida como difusión, desempeña un papel crucial en la determinación de la concentración de inmisión. Factores como la velocidad y dirección del viento, la estabilidad atmosférica y la topografía del terreno afectan la dispersión de los contaminantes y, por tanto, a la concentración de inmisión.
3. **Concentración de fondo:** La concentración de inmisión también está influenciada por la presencia de contaminantes en la zona en ausencia de emisiones locales (concentración de fondo).

5. ¿Cómo se clasifican los contaminantes atmosféricos?

Los contaminantes atmosféricos se clasifican atendiendo a **tres criterios**: 1) **según su estado físico**, 2) **por su composición** y 3) **por su evolución en la atmósfera**.

1. Según su estado físico:

- **Homogéneos:** En la misma fase que el aire, como gas o vapor.
- **Heterogéneos:** En distinta fase, como partículas sólidas o gotas de líquido.
 - i. **Partículas sedimentables:** Más de 10 μm de diámetro
 - ii. **Partículas en suspensión:** Partículas entre 0,1-10 μm . Estas partículas constituyen los **aerosoles** (dispersiones de partículas sólidas o líquidas en un medio gaseoso, como el aire).
 - **Aerosoles líquidos o nieblas:** Suspensión en el aire de pequeñas gotas de líquido.
 - **Aerosoles sólidos:** Pequeñas partículas sólidas halladas en suspensión.
 - **Polvos:** Suspensión en el aire de partículas sólidas muy pequeñas, procedentes de procesos de disgregación o mecánicos.
 - **Fibras:** Partículas con diámetro de partículas igual a un tercio de la longitud.
 - **Humos:** Partículas sólidas provenientes de combustión incompleta.

2. Por su composición:

- **Ácidos:** SO₂, NO₂, ácidos.
- **Básicos:** NH₃
- **Silicatos y polvo de sílice**
- **Humos metálicos**

- **Hidrocarburos**
- **Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs).**

3. **Por su evolución en la atmósfera:**

- **Primarios:** son aquellos contaminantes atmosféricos que se encuentran en la forma en la que fueron emitidos. Entre ellos destacan; monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), óxidos de azufre (SOx), hidrocarburos y compuestos orgánicos volátiles (COVs), CO₂ y partículas sólidas.
- **Secundarios:** son aquellos que no se emiten directamente a la atmósfera, sino que son el resultado de las interacciones entre contaminantes primarios, componentes naturales de la atmósfera y radiación incidente de la misma. Entre ellos destacan: ozono troposférico (responsable del smog fotoquímico), ácido sulfúrico y ácido nítrico (responsables de la lluvia ácida).

6. **¿Qué es el potencial de calentamiento global (GWP)?**

El **Potencial de Calentamiento Global (PCG)** es una medida utilizada para comparar el impacto relativo de diferentes gases de efecto invernadero en el calentamiento global. El PCG se basa en la capacidad de retención de calor (radiación IR) de cada gas y se compara con la del dióxido de carbono (CO₂), que se asigna un valor de PCG igual a 1.

El PCG se calcula para diferentes períodos de tiempo, generalmente 20, 100 o 500 años, y se expresa en relación con el CO₂. Por ejemplo, si un gas tiene un PCG de 25 en un período de 100 años, significa que tiene 25 veces el impacto en el calentamiento global en comparación con el CO₂ durante ese período.

Algunos ejemplos de gases de efecto invernadero y sus PCG incluyen:

- **Metano (CH₄):** Tiene un PCG de aproximadamente 16 a 26 en un período de 100 años. Aunque su concentración en la atmósfera es mucho menor que la del CO₂, su capacidad de retención de calor es mucho mayor.
- **Óxido nítrico (N₂O):** Tiene un PCG de aproximadamente 310 en un período de 100 años. Se libera principalmente por actividades agrícolas, como el uso de fertilizantes y la gestión de residuos.
- **Hidrofluorocarbonos (HFC):** Son gases utilizados principalmente en la refrigeración y la industria. Los diferentes HFC tienen PCG que varían desde cientos hasta miles en un período de 100 años.

El PCG es una herramienta importante para evaluar y comparar las contribuciones de diferentes gases de efecto invernadero al calentamiento global.

7. **Indique que son los efectos globales y locales en contaminación atmosférica.**

Los efectos de los contaminantes atmosféricos se clasifican en:

1. **Efectos globales:** son gases que provocan el deterioro de toda la atmósfera terrestres. Por ejemplo, el efecto invernadero (calentamiento global o cambio climático), la lluvia ácida y el agotamiento de la capa de ozono.
2. **Efectos locales:** son gases que provocan el deterioro de una determinada región o localidad. Por ejemplo, el smog fotoquímico.

Efecto invernadero, calentamiento global o cambio climático

8. ¿Qué es el efecto invernadero? ¿Cuáles son los gases de efecto invernadero y en qué proporción se encuentran? ¿Cuál son los principales sectores que más producen gases de efecto invernadero?

- **Efecto invernadero:** El efecto invernadero se define como el fenómeno por el cual determinados gases que componen la atmósfera, denominados gases de efecto invernadero, absorben parte de la energía solar reflejada por el suelo (radiación IR) y la remiten en parte, lo que contribuye a calentar la atmósfera y la superficie de la Tierra.
- **Principales gases de efecto invernadero (GEI):** Los principales GEI son el CO₂, el CH₄, el N₂O y compuestos fluorados (CFCs, HFCs, PFCs y SF₆).
 1. **Dióxido de carbono (CO₂):** Es el gas de efecto invernadero más importante en términos de emisiones totales (**76-80% aprox=65% aprox. procedente de la quema de combustibles fósiles y procesos industriales + 11% aprox de actividades forestales y otros usos del suelo**). Se produce principalmente por la quema de combustibles fósiles (como el carbón, el petróleo y el gas natural) para la generación de energía, el transporte, la industria y la deforestación.
 2. **Metano (CH₄):** Es un gas de efecto invernadero más potente que el CO₂, en cuanto a la absorción de energía ya que presenta un mayor potencial de calentamiento global (PCG), aunque su concentración en la atmósfera es menor (**16% aprox.**). Se produce en la agricultura, la gestión de residuos, la extracción y quema de combustibles fósiles, y por fuentes naturales como los humedales.
 3. **Óxido nitroso (N₂O):** Es otro gas de efecto invernadero que representa el **6% aprox.** de las emisiones totales de gases de efecto invernadero. Se emite principalmente por actividades agrícolas, como el uso de fertilizantes nitrogenados y la gestión de estiércol, así como por la quema de biomasa y combustibles fósiles.
 4. **Compuestos fluorados:** Aunque solo representan el **2% aprox.** de las emisiones totales de gases de efecto invernadero su PCG es muy elevado.
 - Clorofluorocarbonos (CFCs)
 - Hidrofluorocarbonos (HFCs): Son gases sintéticos utilizados en refrigeración, (aire acondicionado) y en determinados procesos industriales. Los HFC, aunque presentan un impacto importante en términos de efecto invernadero, se utilizan como alternativas a los CFCs, ya que estos últimos presentan un impacto muy negativo en el agotamiento de la capa de ozono.
 - Perfluorocarbonos (PFCs)
 - Hexafluoruro de azufre (SF₆): Es utilizado en aplicaciones eléctricas y de alta tensión, y tiene un potencial de calentamiento global extremadamente alto.

Principales sectores que emiten GEI: La distribución por sectores en cuanto a las emisiones de GEI sería la siguiente:

- Las **actividades energéticas** para la producción de electricidad, calor y otras formas de energía. La generación de energía a partir de combustibles fósiles, como el carbón, el petróleo y el gas natural, es una fuente importante de emisiones de CO₂ (35% aprox.).
- Las **actividades agrícolas, la deforestación y cambio en el uso del suelo** (24% aprox.). La agricultura (cultivo de arroz...) y el uso de fertilizantes es una fuente

importante de emisiones de metano y óxido nitroso. La deforestación y el cambio en el uso de la tierra contribuyen a las emisiones de CO₂, ya que los bosques absorben y almacenan grandes cantidades de carbono.

- **Procesos industriales** debido a sus procesos y el consumo de energía asociado (como es la producción de cemento, acero, químicos y productos petroquímicos) **y productos químicos industriales** (como los HFCs y el SF₆) (21% aprox.).
- **Transporte:** El sector del transporte, que utiliza principalmente combustibles fósiles, es una fuente significativa de emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero. (21% aprox.).

9. Indique los principales efectos del cambio climático

1. Aumento del deshielo y del nivel del mar

- El deshielo de los glaciares y las capas de hielo contribuye al aumento del nivel del mar.
- Esto amenaza a las comunidades costeras y a la biodiversidad de los hábitats costeros.

2. Aumento en la frecuencia y la intensidad de eventos meteorológicos extremos (olas de calor, sequías e inundaciones).

- Las olas de calor son más frecuentes e intensas, afectando la salud humana, la agricultura y la vida silvestre.
- Las sequías prolongadas pueden provocar escasez de agua, afectando la agricultura y los suministros de agua.
- Las inundaciones intensas pueden tener consecuencias devastadoras para las comunidades y la infraestructura.

3. Cambios en los patrones y la cantidad de lluvia.

- Algunas regiones experimentan sequías más prolongadas, mientras que otras experimentan lluvias intensas.
- Esto afecta la disponibilidad de agua y puede tener impactos en la agricultura y la seguridad hídrica.

4. Aumento en la frecuencia, la intensidad y la duración de las olas de calor.

- Las olas de calor prolongadas pueden tener graves impactos en la salud, especialmente en poblaciones vulnerables.
- También afectan la agricultura y contribuyen a eventos climáticos extremos.

5. Alteración de los ecosistemas

- Cambios en los patrones climáticos afectan a los ecosistemas, provocando desplazamientos de especies y cambios en la distribución geográfica.

Estos efectos del cambio climático están interrelacionados y tienen impactos significativos en la sociedad y el medio ambiente. La comprensión de estos efectos es crucial para abordar el cambio climático y tomar medidas para mitigar sus consecuencias.

10. Indique los principales acuerdos internacionales para luchar contra los efectos del cambio climático.

Los principales acuerdos internacionales para luchar contra los efectos del cambio climático son:

1. Protocolo de Kyoto:

El Protocolo de Kioto es un acuerdo internacional diseñado para abordar el cambio climático y reducir las emisiones de GEI en la atmósfera. Fue adoptado el 11 de diciembre de 1997, en

la ciudad de Kioto, Japón, como un anexo a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). El Protocolo de Kioto requería la ratificación de un número suficiente de países responsables de al menos el 55% de las emisiones de CO₂ de los países industrializados para entrar en vigor. Entró en vigor el 16 de febrero de 2005, después de que Rusia ratificara el acuerdo. Dentro del protocolo de Kioto, se establecieron dos periodos de vigencia:

1.1. Primer periodo de vigencia del protocolo de Kioto (1 de enero de 2008 hasta el 31 de diciembre de 2012).

- Los países industrializados se comprometieron a reducir colectivamente sus emisiones de gases de efecto invernadero en un promedio del 5.2% en comparación con los niveles de 1990.
- Se incluyeron 6 GEI: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs) y hexafluoruro de azufre (SF₆).
- Cada país del Anexo I tenía un objetivo específico de reducción de emisiones, que variaba según sus circunstancias y capacidades.
- Al final del primer período, se realizaron evaluaciones para determinar si los países habían cumplido con sus objetivos de reducción de emisiones. Algunos países lograron superar sus objetivos, mientras que otros no alcanzaron las metas establecidas.
- Aunque fue un paso significativo, el primer período del Protocolo de Kioto también fue objeto de críticas. Algunos países no cumplieron completamente con sus compromisos, y hubo preocupaciones sobre la efectividad del Protocolo en abordar de manera integral el problema del cambio climático.
- El primer período del Protocolo de Kioto sentó las bases para futuras discusiones y acciones en la lucha contra el cambio climático, marcando un hito en los esfuerzos globales para abordar las emisiones de gases de efecto invernadero.

1.2. Segundo periodo de vigencia del protocolo de Kioto: El segundo período de compromiso del Protocolo de Kioto fue acordado en la Conferencia de las Partes (COP) en Doha, Qatar, en 2012. Este período de compromiso abarcó desde el 1 de enero de 2013 hasta el 31 de diciembre de 2020.

- Participan en él 38 países desarrollados, incluida la UE y sus 28 Estados miembros. El compromiso adoptado es de reducir las emisiones en un 18% como mínimo con respecto a los niveles de 1990.
- Europa fue una de las que lideró los compromisos adoptados, adoptando un 20% de reducción para 2020.
- Se incorporó un séptimo gas de efecto invernadero, el trifluoruro de nitrógeno (NF₃).
- La principal carencia del Protocolo de Kyoto radica en que únicamente obliga a actuar a los países desarrollados. No están incluidos los países emergentes, que ahora emiten la mayor parte de GEI.
- Débil compromiso de los países más industrializados: EE.UU. no firmó el Protocolo de Kioto, Canadá se retiró antes del final de primer período de compromiso y Rusia, Japón y Nueva Zelanda no participan en el segundo periodo de compromiso. De esta forma, el protocolo sólo afectaba al 14% de las emisiones de GEI mundiales.
- Era necesaria una revisión de las estrategias globales de lucha contra el cambio climático → Acuerdo de París.

2. Acuerdo de París

- El Acuerdo de París es un acuerdo dentro de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático que establece medidas para la reducción de las emisiones de GEI.
- El acuerdo fue negociado durante la XXI Conferencia sobre Cambio Climático (COP 21) celebrada en París del 30 de Noviembre al 11 de Diciembre de 2015. El Acuerdo entró en vigor en octubre de 2016 cuando fue ratificado por más de 55 partes que suman más del 55% de las emisiones globales de GEI.
- El objetivo del acuerdo es mantener aumento de la temperatura media mundial por debajo de los 2 °C (y 1,5 °C si es posible) en 2100 con respecto a los niveles preindustriales. Se empezará a aplicar en 2020, cuando finalice la vigencia del Protocolo de Kyoto.
- Las principales características del Acuerdo de París:
 1. **Reducciones de Emisiones basadas en INDCs:** Los países participantes en el Acuerdo de París presentaron Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (INDCs, por sus siglas en inglés), que son compromisos nacionales para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Cada país determina de manera voluntaria sus metas y estrategias para abordar el cambio climático.
 2. **Inclusión de Países Desarrollados y en Desarrollo:** A diferencia del Protocolo de Kioto, el Acuerdo de París involucra tanto a países desarrollados como en desarrollo. Establece un marco más inclusivo para la acción climática, reconociendo las responsabilidades comunes pero diferenciadas de los países según sus capacidades y circunstancias.
 3. **Fondo Verde para el Clima:** Se estableció el Fondo Verde para el Clima, con el objetivo de movilizar 100.000 millones de dólares anuales para ayudar a los países en desarrollo a enfrentar los impactos del cambio climático y apoyar proyectos de mitigación y adaptación.
 4. **Revisiones Quinquenales:** El Acuerdo de París establece un proceso de revisión quinquenal donde los países deben revisar y, si es necesario, aumentar sus metas de reducción de emisiones. Esto refleja la ambición de mejorar continuamente los esfuerzos para limitar el calentamiento global.
 5. **Mecanismos de Transparencia y Rendición de Cuentas:** Se implementan mecanismos de transparencia y rendición de cuentas para garantizar que los países cumplan con sus compromisos y para facilitar la revisión y la comparación de los progresos.
 6. **Compromisos No Vinculantes Jurídicamente:** Aunque el Acuerdo de París es un tratado internacional, los compromisos asumidos por los países no son jurídicamente vinculantes en el sentido de imponer sanciones legales si los países no cumplen. Sin embargo, existe un fuerte enfoque en la responsabilidad y la transparencia.
 7. **Falta de Objetivos Concretos de Energías Renovables:** A diferencia de algunos acuerdos anteriores, el Acuerdo de París no establece objetivos específicos para el aumento de la participación de las energías renovables. Se centra en la reducción de emisiones en general y en la adaptación al cambio climático.

El Acuerdo de París representa un enfoque más flexible y participativo para abordar el cambio climático, reconociendo la diversidad de situaciones y capacidades de los países y fomentando la acción continua a lo largo del tiempo.

Agotamiento de la capa de ozono

11. ¿Cuáles son los principales contaminantes atmosféricos que provocan la destrucción de la capa de ozono? ¿Cuáles son las principales reacciones de destrucción debido a estos compuestos?

Los principales contaminantes atmosféricos que provocan la destrucción de la capa de ozono son **sustancias químicas que contienen átomos de halógenos** (como el cloro y bromo) presentes en compuestos tales como CFCs o gases halones, **óxido nítrico (NO)** y el **radical hidroxilo (OH·)**. Todos estos productos catalizan una destrucción mucho más rápida del ozono:

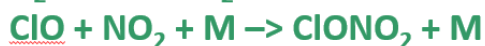


Donde X es NO, OH·, Cl o Br

Es importante remarcar que la reacción convierte el ozono a oxígeno molecular y regenera el catalizador. De esta forma, el catalizador puede destruir más ozono.

Como resultado, un átomo de cloro puede catalizar la destrucción de alrededor de 100.000 moléculas de ozono antes de incorporarse en moléculas inertes de HCl o ClONO₂ (nitrato de cloro) a través de las siguientes reacciones:

Desactivación de cloro:



Tanto el HCl como el ClONO₂ son relativamente estables y permanecen en el aire. En resumen, hay dos tipos de moléculas de cloro en la estratosfera: moléculas destructoras (Cl y ClO) y no destructoras de ozono (HCl y ClONO₂).

12. ¿A qué se debe la caída del uso de compuestos clorofluorocarbonados (CFCs)?

La caída en el uso de **compuestos clorofluorocarbonados (CFCs)** se debe principalmente a **la implementación exitosa del Protocolo de Montreal**. El Protocolo de Montreal es un tratado internacional que se adoptó en 1987 con el objetivo de proteger la capa de ozono de la Tierra y eliminar gradualmente la producción y el consumo de sustancias agotadoras de la capa de ozono, incluyendo los CFCs.

La razón principal de la disminución del uso de CFCs es que se descubrió que estos compuestos son altamente perjudiciales para la capa de ozono, una capa de gas en la atmósfera que protege a la Tierra de los dañinos rayos ultravioleta del sol. Los CFCs liberados en la atmósfera reaccionan con el ozono y provocan su descomposición.

Los CFCs se utilizaban ampliamente en una variedad de aplicaciones industriales y comerciales, como aerosoles, refrigerantes, espumas aislantes y productos químicos para la limpieza en seco. Sin embargo, debido a la preocupación por el agotamiento de la capa de ozono, se buscaron alternativas a los CFCs.

El Protocolo de Montreal estableció metas y cronogramas para la eliminación progresiva de los CFCs y otras sustancias agotadoras de la capa de ozono. Esto fue posible gracias a la cooperación internacional y el **desarrollo de alternativas más seguras y menos dañinas, como los hidroclorofluorocarbonos (HCFCs) y los hidrofluorocarbonos (HFCs).**

La disminución en el uso de CFCs se logró a través de medidas como la eliminación gradual de su producción, la implementación de regulaciones y estándares más estrictos, el fomento de la investigación y el desarrollo de alternativas y la concientización pública sobre los peligros del agotamiento de la capa de ozono.

Como resultado de estas acciones, se ha observado una recuperación gradual de la capa de ozono y se espera que se recupere completamente en las próximas décadas. La reducción en el uso de CFCs es considerada como un importante logro en la protección del medio ambiente y la preservación de la salud humana.

13. Indique cual es el principal acuerdo internacional para luchar contra el agotamiento de la capa de ozono.

Es el **Protocolo de Montreal**. El Protocolo de Montreal es un protocolo de la Convención de Viena para la Protección de la Capa de Ozono, diseñado para proteger la capa de ozono reduciendo la producción y el consumo de numerosas sustancias que se ha estudiado que reaccionan con el ozono y se cree que son responsables del agotamiento de la capa de ozono.

- **Ratificación Universal:** Todos los 197 estados miembros de las Naciones Unidas han ratificado el Protocolo de Montreal. Esta amplia aceptación subraya la importancia y la urgencia global de abordar la amenaza al ozono estratosférico.
- **Enmiendas Relevantes:** A lo largo del tiempo, se han realizado enmiendas al Protocolo de Montreal para abordar nuevas sustancias y desafíos. Por ejemplo, la Enmienda de Pekín y la Enmienda de Kigali se centraron en la reducción del uso de hidroclorofluorocarbonos (HCFC) y gases de efecto invernadero de corta duración (HFC), respectivamente.
- **Implementación Exitosa:** El Protocolo de Montreal ha logrado un alto grado de aceptación y aplicación a nivel mundial. La reducción exitosa de la producción y el consumo de sustancias agotadoras de ozono ha llevado a mejoras en la capa de ozono estratosférico.
- **Cooperación Internacional Ejemplar:** El Protocolo de Montreal se considera un ejemplo excepcional de cooperación internacional exitosa para abordar un problema ambiental global. La colaboración entre países, la industria y la comunidad científica ha sido fundamental para el éxito del tratado.
- **Impacto Positivo en la Capa de Ozono:** Gracias a las medidas adoptadas bajo el Protocolo de Montreal, ha habido una disminución significativa en la emisión de sustancias agotadoras de ozono, lo que ha contribuido a la recuperación gradual de la capa de ozono.

Lluvia ácida

14. Indique algunas consecuencias de la lluvia ácida.

La lluvia ácida es una forma de precipitación que contiene niveles anormalmente altos de ácidos, como el **ácido sulfúrico** y el **ácido nítrico (contaminantes secundarios)**. Estos ácidos se forman cuando los contaminantes emitidos por la quema de combustibles fósiles, como el **dióxido de azufre** y los **óxidos de nitrógeno (contaminantes primarios)**, reaccionan con el agua, el oxígeno y otros compuestos en la atmósfera. Algunas de las consecuencias de la lluvia ácida son:

1. **Daño a los edificios y monumentos:** Los ácidos presentes en la lluvia ácida pueden corroer y dañar materiales de construcción como piedra, metal, hormigón y pintura. Esto puede causar la degradación de edificios, monumentos históricos y estatuas. Los daños causados por la lluvia ácida a estructuras y patrimonio arquitectónico pueden ser costosos de reparar y pueden tener un impacto negativo en la preservación cultural.
2. **Daño a los ecosistemas terrestres:** La lluvia ácida también puede dañar los suelos y los ecosistemas terrestres. Los suelos ácidos pueden afectar la capacidad de las plantas para absorber nutrientes y agua, lo que puede inhibir su crecimiento y desarrollo. Además, la lluvia ácida puede liberar metales pesados tóxicos en el suelo, lo que aumenta el riesgo de toxicidad para las plantas y otros organismos del suelo. Los suelos pobres en caliza y recubiertos de finas capas de tierra se ven muy afectados por los efectos de la lluvia ácida.
3. **Daño a los ecosistemas acuáticos:** La lluvia ácida puede acidificar cuerpos de agua como lagos, ríos y arroyos. Esto puede tener un impacto negativo en la vida acuática, incluyendo peces, anfibios, insectos y plantas acuáticas. Los niveles altos de acidez pueden alterar el equilibrio del ecosistema acuático, dañar las poblaciones de especies y reducir la biodiversidad.
4. **Impacto en la agricultura:** La lluvia ácida puede tener efectos adversos en los cultivos agrícolas. Los suelos ácidos pueden disminuir la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas y afectar su crecimiento y rendimiento. Además, los contaminantes presentes en la lluvia ácida pueden dañar directamente las hojas y los tejidos de las plantas, lo que reduce su capacidad fotosintética.
5. **Impacto en la salud humana:** Si bien la exposición directa a la lluvia ácida no representa un riesgo significativo para la salud humana, los contaminantes primarios que la causan, como el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno, pueden contribuir a la formación de partículas finas en el aire. Estas partículas pueden ser inhaladas y causar problemas respiratorios, especialmente en personas con enfermedades respiratorias preexistentes.

15. Indique qué medidas se podrían aplicar para evitar la lluvia ácida.

1. **Reducción del Nivel Máximo de Azufre en Combustibles:** Reducir el contenido de azufre en combustibles, como en los diésel y gasolinas, ayuda a disminuir las emisiones de dióxido de azufre (SO_2) durante la combustión, contribuyendo así a la reducción de la lluvia ácida.
2. **Colaboración con Fuentes Fijas de la Industria:** Trabajar con la industria para establecer reducciones en las emisiones de óxidos de azufre (SO_x) y óxidos de nitrógeno (NO_x) mediante la implementación de tecnologías de control de emisiones.

3. **Control de Condiciones de Combustión:** Ajustar las condiciones de combustión en instalaciones industriales para optimizar la eficiencia y reducir las emisiones de contaminantes atmosféricos.
4. **Impulsar el Uso de Gas Natural:** Promover el uso de gas natural en diversas industrias como una alternativa más limpia y con menores emisiones de contaminantes.
5. **Convertidores Catalíticos de Tres Vías:** Introducir convertidores catalíticos de tres vías en vehículos para reducir las emisiones de contaminantes como óxidos de nitrógeno (NOx) y monóxido de carbono (CO).
6. **Conversión de Vehículos a Gas Natural o Eléctricos:** Fomentar la conversión de vehículos de empresas y administraciones a combustibles más limpios, como el gas natural o vehículos eléctricos.
7. **Ampliación del Transporte Eléctrico:** Expandir y promover la infraestructura del transporte eléctrico para reducir la dependencia de vehículos que utilizan combustibles fósiles.
8. **Instalación de Equipos de Medición y Control:** Colocar equipos de medida y control en diferentes industrias para monitorear y gestionar las emisiones de contaminantes.
9. **Reducción del Uso Excesivo de Fertilizantes:** Evitar el uso exagerado de fertilizantes para reducir la liberación de óxidos de nitrógeno en el suelo y su contribución a la lluvia ácida.
10. **Adición de Compuestos Alcalinos:** Agregar compuestos alcalinos en lagos y ríos para neutralizar el pH del agua y contrarrestar los efectos de la acidificación causada por la lluvia ácida.

16. ¿Qué es la deposición seca?

La deposición seca es un proceso en el cual los **contaminantes atmosféricos, como partículas y gases (fundamentalmente óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre), son depositados directamente en la superficie de la tierra o el agua sin la intervención de la precipitación.** Posteriormente, los gases o partículas pueden ser lavados de esas superficies por la lluvia. Es importante tener en cuenta que la mitad de la acidez que hay en la atmósfera vuelve a la tierra en forma de deposición seca.

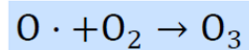
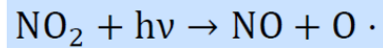
Smog fotoquímico

17. ¿Qué es el smog fotoquímico? ¿Cuáles son sus contaminantes primarios y secundarios? ¿Qué reacciones toman lugar?

El smog o niebla fotoquímica consiste en la aparición de compuestos oxidantes en la atmósfera, consecuencia de la reacción de NO_x, HC y O₂ en presencia de radiación solar, ya que son procesos fotoquímicos). Estas reacciones se ven favorecidas con situaciones anticiclónicas (fuerte sol y poco viento) o de inversión térmica (ya que se dificulta la dispersión de los contaminantes, favoreciendo que los contaminantes reaccionen entre sí).

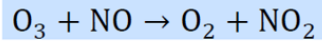
Los **contaminantes primarios** son los NO_x y los COVs. Mientras que, los **contaminantes secundarios** provienen de los primarios a partir transformaciones debidas a la radiación solar. Por ejemplo, el ozono, los aldehídos, PAN (nitrato de peroxiacetilo), HNO₃ y otros compuestos oxidantes. Las reacciones son:

En presencia de radiación solar, el NO_2 se disocia en NO y $\text{O}\cdot$, mientras que el oxígeno atómico formado se combina con O_2 para generar ozono:

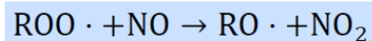


El ozono generado evoluciona de la siguiente forma:

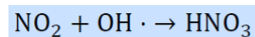
- En ausencia de COVs el ozono oxida al NO formado en la etapa anterior, produciendo más NO_2 :



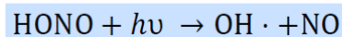
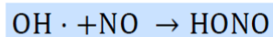
- En presencia de COVs, el ozono los transforma en radicales alquilperoxi ($\text{ROO}\cdot$ o $\text{RO}_2\cdot$), que oxidan al NO , por lo que deja de estar disponible para reaccionar con el O_3 y, por tanto, el O_3 se acumula en la atmósfera:



- Muchos de los radicales $\text{RO}\cdot$ generados terminan formando aldehídos. Éstos, cuando la concentración de NO es baja (conforme avanza el día), pueden reaccionar con NO_2 dando lugar a compuestos del tipo RCOOONO_2 (cuando R es un metilo se denomina nitrato de peroxiacetilo, PAN, un compuesto tóxico).
- La formación del HNO_3 se produce al final del día por reacción del NO_2 con radicales hidroxilo:



- Durante la noche los radicales $\text{OH}\cdot$ pueden reaccionar con el NO dando ácido nitroso, que se disocia en presencia de luz, pero es estable durante la noche.



- Durante la noche las reacciones de *smog* fotoquímico se reducen mucho pues necesitan la luz para llevarse a cabo pero pueden continuar a través de otros compuestos.

18. Indique las principales consecuencias de la contaminación atmosférica

IMPORTANTE: Hay que ser capaces de describir los principales problemas de contaminación atmosférica = efecto invernadero, agotamiento de la capa de ozono, lluvia ácida y smog fotoquímico, para cada uno conocer qué contaminantes atmosféricos (primarios y secundarios) los originan, qué consecuencias tienen sobre la salud, el medio ambiente o el clima, así como las principales medidas que se han tomado para mitigar estos problemas (acuerdos internacionales). Hay que distinguir claramente cuáles son problemas locales o globales.

**ANEXO 3: MATERIAL DOCENTE DE
AUTOEVALUACIÓN RELATIVO AL
BLOQUE DE CONTAMINACIÓN
ATMOSFÉRICA (PARTE 2)**

TEMA 6: MÉTODOS DE DEPURACIÓN DE CORRIENTES GASEOSAS

Sistemas de captación de partículas

1. Enumere y clasifique los sistemas de captación de partículas de una corriente gaseosa.

Los sistemas de depuración o captación de partículas de una corriente gaseosa se clasifican en:

- **Métodos secos:**

- 1.1. Basados en principios físicos simples (gravedad, inercia y fuerza centrífuga)
 - 1.1.1. Gravedad: Cámaras de sedimentación.
 - 1.1.2. Inercia: Separadores inerciales o de impacto.
 - 1.1.3. Fuerza centrífuga: Separadores centrífugos: ciclones y precipitadores dinámicos.
- 1.2. Precipitadores electrostáticos.
- 1.3. Filtros de tejido o mangas.

- **Métodos húmedos (lavadores y absorbedores húmedos “scrubbers”)**

- 2.1. Torres y cámaras de aspersión.
- 2.2. Torres con relleno.
- 2.3. Lavadores ciclónicos y centrífugos.
- 2.4. Lavadores de impacto y de orificio.
- 2.5. Lavadores Venturi.
- 2.6. Lavadores por aspersión de inducción mecánica.
- 2.7. Eliminadores de niebla y filtros irrigados.

2. Describa las principales características de los métodos secos para la depuración de partículas de una corriente gaseosa.

- El sólido se puede recuperar y valorizar más fácilmente al no estar mezclado con agua.
- La eficacia de los métodos secos es generalmente inferior a la de los métodos húmedos, a excepción de los filtros de mangas que son los métodos más eficaces en la eliminación de partícula en corrientes gaseosas y pertenece a los métodos secos.
- En general, pueden utilizarse con corrientes gaseosas que presentan altas temperaturas (excepto los filtros de mangas cuya temperatura de operación oscila entre 250-300°C).

3. Describa las principales características de los métodos húmedos para la depuración de partículas de una corriente gaseosa.

- Se necesita líquido de lavado que puede ser agua o una disolución acuosa “slurry” para llevar a cabo la separación.
- Pueden llevarse a cabo la eliminación simultánea de partículas y algunos gases utilizando una disolución adecuada.
- Suelen ser más eficaces que los métodos secos (a excepción de los filtros de mangas que son los sistemas más eficaces en la eliminación de partículas y pertenecen a los métodos secos)
- No pueden emplearse con corrientes gaseosas que se encuentran a altas T porque el líquido de lavado se evaporaría.
- Se reduce el peligro de mezclas explosivas de polvo-aire.
- El gas de salida puede contener nieblas y vapor de agua.

- Equipos sencillos y que ocupan un espacio razonablemente pequeño.

4. Describa brevemente el funcionamiento de los métodos secos basados en principios físicos simples para la depuración de partículas en corrientes gaseosas.

Los métodos secos basados en principios físicos simples (gravedad, inercia y fuerza centrífuga) son:

1. Cámaras de sedimentación (basadas en la gravedad):

- Tecnología más sencilla para la captación de partículas. Son grandes cámaras de expansión, con la entrada de gas por un extremo y la salida por el lado opuesto. Las partículas sólidas se recogen en la parte inferior del equipo, generalmente en tolvas.
- La separación de las partículas se consigue por sedimentación a causa de la reducción en la velocidad del gas. Por este motivo, la velocidad del gas dentro de la cámara debe ser < 3 m/s a fin de evitar el arrastre de las partículas.
- En estas cámaras suelen colocarse placas horizontales que aumentan la eficacia de separación al reducir la distancia vertical entre las superficies de sedimentación. Aunque tienen mayor eficiencia y requieren menos espacio que las cámaras de sedimentación sin placas horizontales, presentan algunos inconvenientes como son la difícil limpieza de las placas horizontales (se suele utilizar un lavado con aspersores de agua) y el alabeado de las placas a altas temperaturas.
- La aplicación de estos equipos (cámaras de sedimentación con y sin placas horizontales) es muy amplia, aunque hay que considerar la temperatura y la corrosividad del gas a tratar.
- Su mayor limitación consiste en su capacidad para eliminar partículas de pequeño tamaño (25-50 μm). A menores tamaños de partícula, la velocidad de sedimentación es muy pequeña, lo que implicaría cámaras de sedimentación de gran tamaño para conseguir su separación, lo que resultaría inviable económicamente.
- Estos equipos suelen emplearse como pre-limpiadores, ubicándose antes de los equipos de mayor eficiencia, con el objetivo de eliminar la parte más gruesa del polvo presente en la corriente gaseosa.

2. Separadores inerciales o de impacto:

- Estos equipos provocan cambios repentinos en la dirección de la corriente gaseosa, separando a las partículas por la inercia de éstas, haciéndolas chocar contra un obstáculo.

3. Separadores centrífugos: ciclones y precipitadores electrostáticos

3.1. Ciclones:

- En un ciclón los gases son forzados a seguir un movimiento circular que ejerce una fuerza centrífuga sobre las partículas y que las dirige hacia las paredes del ciclón. La entrada tangencial del gas a tratar provoca la formación de un doble vórtice: a) vórtice principal lo forma el gas de entrada y tiene una dirección hacia abajo en forma de espiral y b) vórtice secundario asciende siguiendo una trayectoria en espiral por el centro de la estructura del ciclón, terminando a la salida del equipo. El material particulado se va acumulando en la parte inferior del equipo.
- Son equipos muy simples, sin partes móviles, lo que facilita su operación y mantenimiento.
- Son adecuados para capturar el material particulado de tamaño > 5 μm .

3.2. Precipitadores dinámicos:

- Utilizan las fuerzas centrífugas generada por impulsores rotatorios para efectuar la separación. La partícula se ve sometida a una fuerza varias veces superior a la gravitatoria.
- Estos equipos funcionan como impulsores del gas y como separadores de polvos. Estos equipos emplean una gran cantidad de aspas con contornos hiperbólicos para interceptar las partículas de polvo y conducir las por un camino convergente hacia el borde del aspa. Las partículas así concentradas se eliminan en las regiones periféricas de las aspas mediante una corriente de aire secundaria, pasando a una tolva secundaria mediante transporte mecánico.
- Requieren un espacio reducido para su colocación en la instalación.
- Mayor necesidad de mantenimiento, corrosión y abrasión que pueden sufrir las aspas, deformación de las mismas por efectos de una elevada temperatura de operación y una mayor tendencia a un desajuste de la hélice.

5. ¿Qué son los multiciclones y los ciclones en serie?

Multiciclones (operan en paralelo): Se utilizan cuando se desea depurar grandes volúmenes de gas con ciclones de pequeño diámetro (alta eficiencia de separación). Si el número de ciclones requeridos es muy grande se suele utilizar una cámara de entrada, una cámara de salida y una zona de almacenamiento del material particulado comunes a todos ellos.

Ciclones en serie: Se utilizan si la eficacia de separación de partículas no puede alcanzarse con un solo ciclón. En este caso, el aire tratado en el primer ciclón se alimenta a un segundo ciclón, más pequeño, que separa el resto del material particulado. Los ciclones en serie producen un aumento progresivo de eficacia en la eliminación de partículas. Se suelen utilizar dos ciclones en serie, uno de mayor diámetro para separar las partículas más grandes y otro de diámetro más pequeño para separar las partículas más pequeñas.

6. ¿Cuál es el parámetro de diseño más importante en un ciclón?

La variable de diseño principal en un ciclón es el **diámetro del ciclón (Dc)**. Dc tiene que tener un valor tal que permita separar las partículas que queremos (al disminuir Dc aumenta la eficacia de separación de partículas) y que la pérdida de carga sea razonable (al disminuir Dc aumenta la pérdida de carga). **El resto de los parámetros de un ciclón se calcula mediante relaciones geométricas sencillas a partir de valor de Dc.** Hay distintos autores que han propuesto distintas relaciones geométricas entre Dc y las distintas dimensiones del ciclón.

7. Describa brevemente el funcionamiento de los precipitadores electrostáticos.

Los **precipitadores electrostáticos (ESP)** se basan en el paso de una corriente gaseosa que lleva partículas, a través de un **fuerte campo electrostático unidireccional (14-75 kV) entre dos electrodos (el electrodo emisor y el colector)**, el cual carga eléctricamente al polvo o humo y provoca la aglomeración y precipitación de las **partículas que son recogidas en el electrodo colector**. Hay dos configuraciones en los ESP: placa-alambre y tubular.

La limpieza de los electrodos colectores es muy importante para evitar que las partículas sean arrastradas por el aire y salgan con la corriente de aire de salida y para evitar que se generen chistas debido a la acumulación excesiva de polvo en los electrodos colectores. Los sistemas de limpieza de los electrodos colectores son: por golpeo, por vibración y por pulsos (neumáticos o electromagnéticos).

8. Explique el funcionamiento de un filtro de mangas en la eliminación de partículas de una corriente gaseosa.

El **filtro de mangas** se incluye dentro de los **métodos secos de captación de partículas de una corriente gaseosa**, siendo el **método más eficaz** en la eliminación de partículas, tanto de los métodos secos como de los métodos húmedos. En este sistema el **gas sucio fluye a través de un medio poroso** (papel, tela tejida o fieltro), donde las **partículas se depositan en los espacios vacíos (poros)**. Aunque los poros de los medios filtrantes suelen estar en torno a las 5-50 μm , **eliminan eficazmente partículas < 1 μm** . Según se van acumulando más partículas en el filtro, la pérdida de presión aumenta hasta que se alcanza un punto en el que el medio filtrante debe limpiarse o reemplazarse. Los sistemas de limpieza más comunes son: sacudida mecánica; aire a contracorriente (“reverse air”) y neumática, con aire comprimido (“pulse-jet” o “plenum jet”).

9. Indique atendiendo a qué criterios se pueden clasificar los filtros de mangas.

Los filtros de mangas se clasifican:

1. Según la forma de los filtros:

- Bolsas de tipo sobre.
- Bolsas de tipo tubular.

2. Según el tipo de medio filtrante:

- Papel.
- Tela tejida.
- Tela de fieltro.

3. Según el método de limpieza de los filtros:

- Manual.
- Sacudida mecánica.
- Aire a contracorriente (“reverse air”).
- Neumática, con aire comprimido (“pulse-jet” o “plenum jet”).
- Métodos sónicos.
- Represurización.

10. Explique el funcionamiento general de las torres y cámaras de aspersion en la eliminación de partículas de una corriente gaseosa.

Las **torres y cámaras de aspersion** se incluyen dentro de los **métodos húmedos de captación de partículas de una corriente gaseosa**. El principio de operación es por interceptación y colisión de partículas de polvo con gotas de líquido, debido a la diferencia entre sus velocidades. Las cámaras pueden tener configuraciones en paralelo, en contra-corriente y en corriente curvada. La pérdida de presión es de 125-250 Pa. El caudal de agua necesaria oscila entre 0,7 y 1,4 $\text{m}^3/1000 \text{ m}^3$ de aire. La eficacia de separación es del 80% para partículas mayores de 10 μm .

En cuanto al funcionamiento, las gotas de líquido se producen ya sea por aspersores o atomizadores, y el líquido y el gas fluyen en contra-corriente. La corriente de gas a tratar entra por la base de la torre, pasando por una placa de distribución que suele consistir en una placa perforada. El gas choca al ascender con las gotas de líquido, creadas por una serie de aspersores. La velocidad terminal de las gotas debe ser mayor que la velocidad del gas (de 0,6 a 1,5 m/s) a fin de evitar el arrastre del líquido.

11. Explique el funcionamiento general de las torres de relleno en la eliminación de partículas de una corriente gaseosa.

Las **torres de relleno** se incluyen dentro de los **métodos húmedos de captación de partículas de una corriente gaseosa**. Son similares a las torres y cámaras de aspersion, pero presentan en su interior un relleno que favorece la transferencia de materia de la fase gas a la fase líquida y proporciona la superficie de impacto para el depósito de las partículas. La pérdida de presión suele ser alrededor de 1 in. H₂O / ft de relleno (800 Pa / m de relleno). Los tipos principales son: de lecho fijo, de lecho flotante y de lecho inundado. La eficiencia de separación para partículas mayores de 2 µm: 80-95% (de lecho fijo); 95-99%. (de lecho flotante) y 99% (de lecho inundado).

Generalmente se emplean para la absorción de contaminantes gaseosos, aunque se han empleado con éxito para separar polvos y nieblas o una combinación de toda clase de contaminantes. Las de lecho fijo se utilizan para eliminar nieblas de ácido, polvo de fosfato, polvo de fluoruro y otros polvos solubles. Las de lecho flotante se emplean para la eliminación simultánea de cenizas y dióxido de azufre en calderas de carbón.

Los costes varían mucho dependiendo del tipo de relleno empleado, los materiales de construcción y el tamaño del equipo. Para lechos no muy grandes, los costes son comparables a los de una cámara de aspersion. Los costes de lechos grandes con rellenos de calidad son similares a los de los precipitadores electrostáticos.

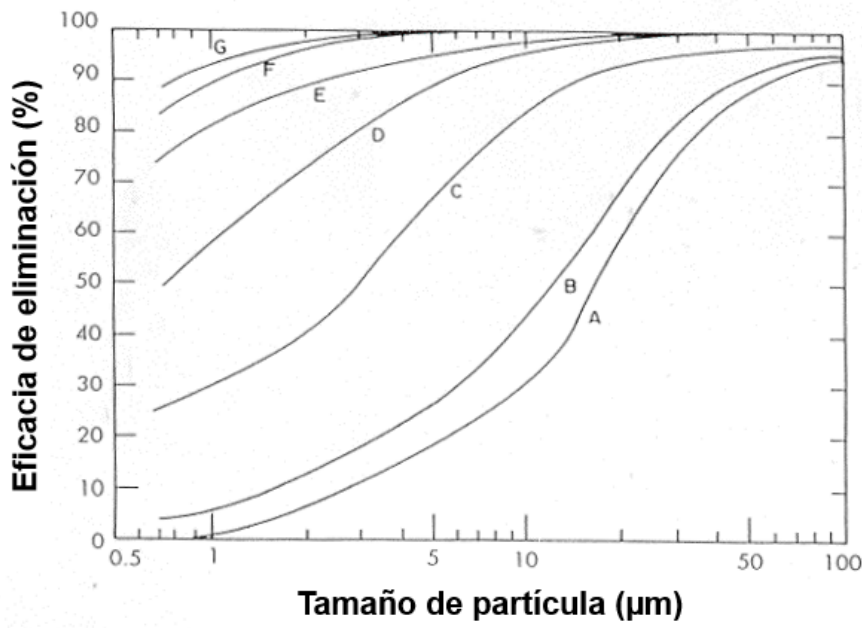
12. Explique el funcionamiento general de un lavador Venturi en la eliminación de partículas de una corriente gaseosa.

El **lavador Venturi** se incluye dentro de los **métodos húmedos de captación de partículas de una corriente gaseosa**, siendo el **método más eficaz dentro de los métodos húmedos y el segundo más eficaz si se consideran todas las tecnologías de eliminación de partículas**, situándose después del filtro de mangas. El gas sucio entra al lavador Venturi y sufre una aceleración al pasar por una sección convergente que conduce hacia la garganta del Venturi donde se lleva a cabo un atomizado de agua (antes o en la propia sección convergente del Venturi). El gas a tratar y las gotas de agua chocan de manera muy eficaz debido a la gran diferencia de velocidad y presión entre ellas. Después, al entrar en la sección divergente, disminuye la velocidad del gas, y ocurren nuevos impactos y aglomeraciones. Una vez que las partículas han quedado atrapadas dentro de las gotas, los aglomerados resultantes se separan fácilmente del gas, normalmente por efecto ciclónico.

13. Ordene en orden decreciente de eficacia los métodos utilizados para la depuración de partículas en corrientes gaseosas

En líneas generales, el orden de mayor a menor eficacia sería: **Filtro de manga > Métodos húmedos > Métodos secos**.

De una forma más detallada: **Filtro de mangas > Lavador Venturi > Precipitador electrostático > Torres de relleno o aspersion > Ciclones de alta eficacia (diámetro pequeño) > Ciclones convencionales (diámetro grande) > cámaras de sedimentación**.



A – Cámara de sedimentación con impacto inercial

B – Ciclón convencional

C – Ciclón de alta eficacia

D – Torres de aspersion

E – Precipitador electrostático

F – Lavador Venturi

G – Filtro de mangas

La pr
posteri
divulgación
o servicios de
en Internet) puede vu
normativa de proteccion
datos y/o la de propiedad
intelectual y propiedad
responsabilidad de la persona
infractora.

Sistemas de eliminación de NO_x

1. Enumere los sistemas de reducción de NO_x de una corriente gaseosa.

1. Técnicas preventivas:

- 1.1. Control de las condiciones de combustión.
- 1.2. Uso de quemadores de baja emisión de NO_x.

2. Técnicas correctoras:

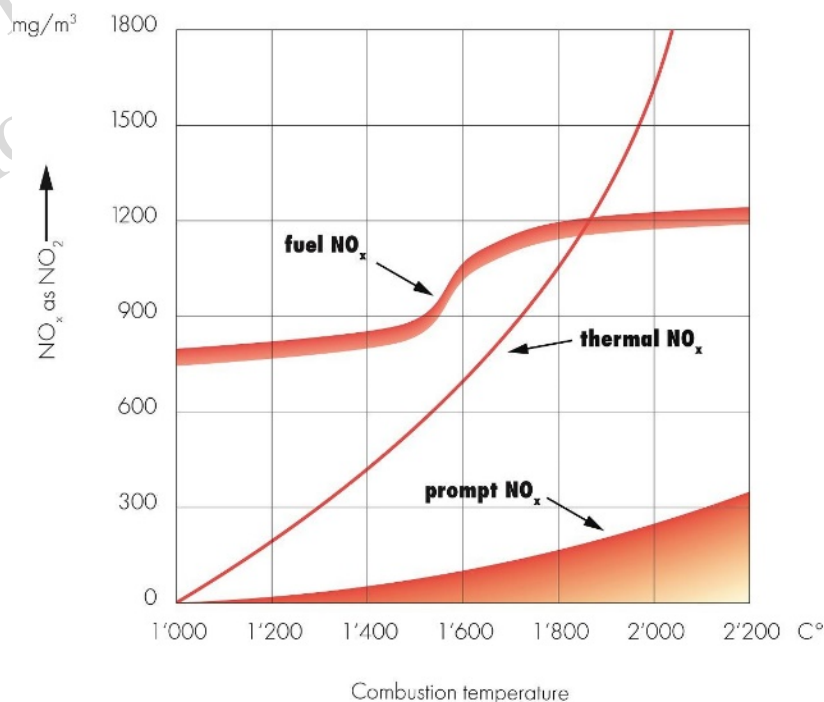
- 2.1. Absorción con reacción química.
 - 2.1.1. Absorción con ácido sulfúrico
 - 2.1.2. Proceso TYCO: elimina simultáneamente NO_x y SO₂ y recupera como subproductos HNO₃ y H₂SO₄
 - 2.1.3. Lavado con Mg(OH)₂ (Proceso Exxon): elimina simultáneamente partículas sólidas, gases ácidos (HF, HCl), NO_x y SO₂ y recupera como subproductos HNO₃ y H₂SO₄
- 2.2. Reducción catalítica selectiva (SCR) (es el proceso más eficaz y empleado)
- 2.3. Reducción no catalítica selectiva.
- 2.4. Reducción catalítica no selectiva.

2. Indique los tres tipos de NO_x que se forman durante el proceso de combustión.

NO_x térmicos: Formados a partir del N₂ del aire. Aumentan exponencialmente con la T de llama. Suelen ser los mayoritarios, sobre todo cuando se usan combustibles líquidos y gaseosos.

NO_x del combustible: Producidos a partir del nitrógeno presente en el combustible (una parte del N pasa a NO_x). Estos NO_x son mayoritarios en la combustión de carbón (presenta de un 0.5-2% de N), seguido de las fracciones líquidas del petróleo (gasóleo y gasolina) y, por último, el uso de gas natural. Si la T de la llama es < 1000 °C son los mayoritarios.

NO_x instantáneos (“prompt NO_x”): Se forman en la primera fase de la combustión por reacción del N₂ y los radicales hidrocarburos presentes en el aire. Son minoritarios.



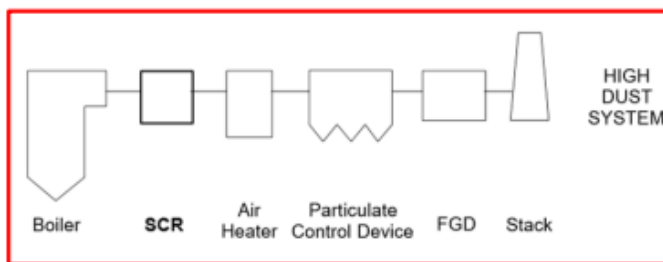
3. ¿Cuál es, en qué consiste y cuales son las principales condiciones de operación del método más empleado y eficaz para la eliminación de NO_x?

El método más eficaz y utilizado para la eliminación de NO_x de una corriente gaseosa es la **reducción catalítica selectiva (SCR)**, que ofrece eliminaciones del 90-95%. La SCR se lleva a cabo mediante la adición de **un agente reductor: amoníaco (NH₃) o urea** (que produce NH₃ mediante descomposición térmica). El amoníaco o la urea, al pasar a través de un lecho catalítico (estructura monolítica o de placas), reducen selectivamente los NO_x a N₂ sin reaccionar con otras sustancias como el oxígeno.

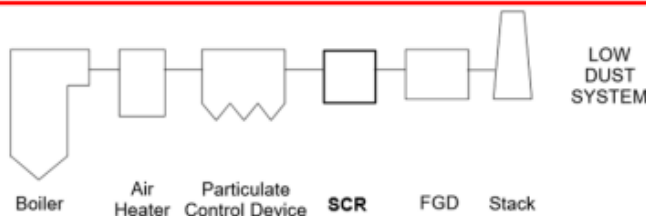
Las principales condiciones de operación o aspectos a considerar son:

- **Temperatura:** Rango de T=200-500°C (si la T es inferior a 200°C el rendimiento de eliminación de NO_x es bajo debido ya que existe déficit energético y si la T es superior a 500°C se produce la oxidación del agente reductor) Tóptima= 370-400 °C.
- **Caudal de agente reductor:** El control del caudal de reductor es un factor crítico. Si no es suficiente, la eliminación de NO_x es inferior. Pero si hay un exceso, se producirán emisiones de NH₃ en la chimenea (NH₃ slip). Para minimizar las emisiones de NH₃ se suelen utilizar ratios NH₃/NO_x = 0,80-1,0 (0,4-0,5 en el caso de urea).
- **Rejillas de inyección de amoníaco/urea:** El diseño y localización de las mismas es muy importante ya que afectan al grado de mezclado entre la corriente a tratar y el agente reductor. Este hecho afecta a la eficacia de la reacción y a la cantidad de amoníaco que queda sin reaccionar (NH₃ “slip”).
- **Catalizador:** Estructura monolítica o de placas. Esta estructura minimiza la pérdida de carga, el ensuciamiento por partículas sólidas o la formación de sulfatos a partir del SO₂ (que luego pueden formar sulfato y bisulfato amónico).

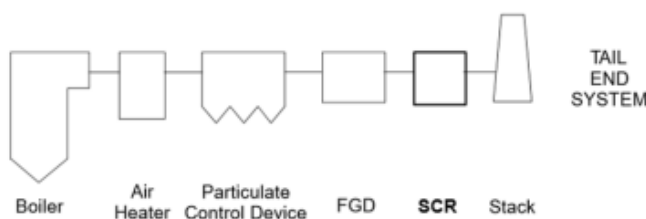
4. Indique las distintas localizaciones donde se puede instalar el SCR



- Temperatura óptima (no requiere calentamiento).
- Catalizador susceptible al ensuciamiento (partículas) y desactivación (SO₂).
- Posible formación de bisulfato y sulfato amónico, que producen corrosión y ensuciamiento en equipos posteriores.



- Temperatura cercana la óptima (no requiere calentamiento o poco calentamiento).
- El ensuciamiento del catalizador disminuye por haber eliminado antes las partículas.
- Todavía es posible la formación de bisulfato y sulfato amónico siguen existiendo.



- Es necesario volver a calentar el aire, por lo que los costes de inversión y operación son más elevados.
- Potencial muy bajo de ensuciamiento o envenenamiento (libre de partículas y SO₂). Alarga la vida del catalizador y de los equipos posteriores, reduce costes de mantenimiento.

5. Describa en qué consiste un sistema de reducción selectiva no catalítica (SNCR).

El proceso de **reducción selectiva no catalítica (SNCR) para la eliminación de NO_x es idéntico al del SCR (mismos agentes reductores y mismas reacciones de reducción) pero sin utilizar un catalizador.**

- Esto hace que sean necesarias elevadas temperaturas, por lo que el proceso se suele hacer en calderas u hornos: 930-980 °C (amoníaco) y 950-1050 °C (urea).
- La eficacia de eliminación de NO_x es baja (40-60%). Sólo se utiliza un 20-60% del agente reductor introducido en el reactor, lo que obliga a trabajar a ratios NH₃/NO_x = 1-2.
- Condiciones de operación:
 - La temperatura. Cuando la temperatura es demasiado baja se puede producir emisiones de NH₃ (NH₃ slip).
 - La relación molar NH₃/NO_x. Debido a la baja utilización del agente reductor se usan ratios >1 incluso e incluso hasta 2.
 - El tiempo de residencia. Mínimo 1-2 s.

Ventajas: Instalación relativamente sencilla y con bajos costes de inversión.

Inconvenientes: Elevadas temperaturas de operación. Baja utilización del agente reductor (20-60%). Intervalo estrecho en las condiciones de operación óptimas.

Aplicaciones: Incineración de residuos, centrales térmicas, industria de los metales.

6. Indique las ventajas y desventajas de los sistemas de reducción selectiva catalítica (SCR) frente a los sistemas de reducción selectiva no catalítica (SNCR).

- **Ventajas de los SCR frente a los SNCR:**
 - Mayor eficacia de eliminación (90-95% vs. 40-60%).
 - Temperaturas de operación inferiores (400 vs. 1000 °C).
 - Mayor eficiencia en la utilización del agente reductor (> 85% vs. 20-60%).
- **Desventajas de los SCR frente a los SNCR:**
 - Elevada inversión debido al coste del catalizador.
 - Posibilidad de taponamiento y envenenamiento del catalizador. Erosión del catalizador.
 - Una parte del SO₂ se oxida SO₃ y puede formar bisulfato y sulfato amónico, que producen corrosión y ensuciamiento en los equipos posteriores.
 - Elevadas necesidades de espacio para su instalación.

	SCR	NSCR
Eficacia de eliminación	90-95%	40-60%
Temperaturas de operación	400° C	1000° C
Eficiencia de agente reductor	85%	20-60%
Inversión	Alta	Baja
Posibilidad taponamiento y erosión de catalizador	SI	NO
Espacio de instalación requerida	Elevado	Bajo

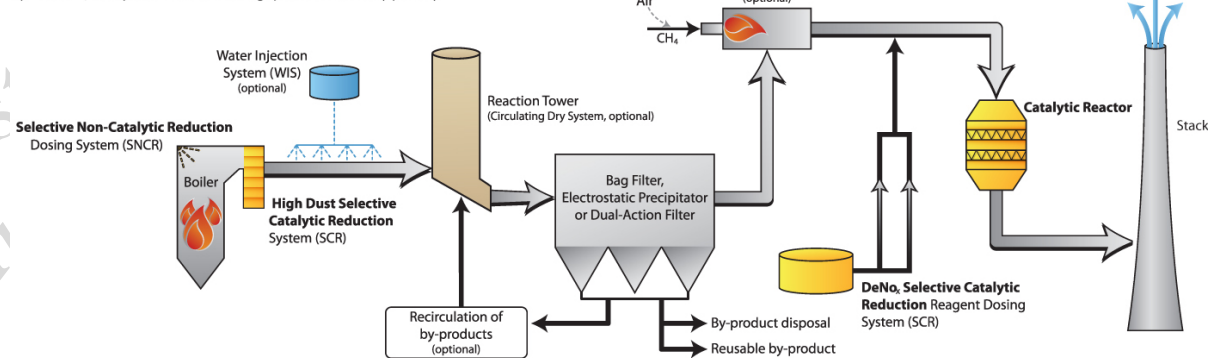
7. Indique las características de un sistema híbrido formado por un sistema de reducción selectiva no catalítica (SNCR) y un sistema SCR en la misma línea de depuración de gases.

Los **híbridos SNCR/SCR son una tecnología reciente para la eliminación de NO_x**. Las principales ventajas que presentan son:

- Elevadas eliminaciones (80-90%) de NO_x usando poco espacio.
- Es un proceso muy eficaz en términos de costes (tanto de inversión como operacionales). Se necesita un SCR mucho más pequeño (menos catalizador y por tanto menor coste) y el agente reductor se usa de manera más eficiente que en un SNCR (hasta un 60-80%).
- El SNCR puede trabajar a menor temperatura (aunque se emita más NH₃) lo que produce una mayor eliminación.
- Se minimiza la oxidación de SO₂ a SO₃ en el SCR.

Ejemplo de sistema híbrido SNCR/SCR:

Hybrid SNCR/SCR System with recirculating system and burner (optional).



8. Describa en qué consiste un sistema de reducción catalítica no selectiva.

La **reducción catalítica no selectiva** para la eliminación de NO_x presenta las siguientes características:

- Agentes reductores **no son amoníaco o urea**, sino que se utilizan como agentes reductores gas natural, propano, butano, CO, H₂, etc.
- Al ser no selectiva se hace en ausencia de O₂.
- Catalizador: monolitos con metales nobles (Pd, Pt o Rh).
- Temperatura de operación: 800 °C (HC, CO, metano) o 450 °C (H₂).
- Aplicaciones principales: plantas de fabricación de ácido nítrico y vehículos gasolina.

Sistemas de eliminación de SO₂/H₂S

1. Enumere y clasifique los sistemas de eliminación de SO₂ de una corriente gaseosa.

Los métodos de eliminación pueden clasificarse en:

- **No regenerativos:** el SO₂ se une de forma permanente a los absorbentes, los cuales deben eliminarse como desecho o pueden ser utilizados como subproducto (p.ej. en la industria cementera).
- **Regenerativos:** El SO₂ se elimina del absorbente utilizado en una etapa posterior de regeneración, por lo que puede volver a utilizarse. El SO₂ puede emplearse para producir ácido sulfúrico, S elemental, o SO₂ líquido.

También pueden clasificarse en:

- **Métodos húmedos** (la mezcla de residuos está húmeda y el gas de salida saturado con humedad).
- **Métodos semi-secos.**
- **Métodos secos** (el material de desecho está seco y el gas que sale del absorbedor no está saturado con humedad).

TECNOLOGÍA	NO REGENERATIVA	REGENERATIVA
HÚMEDA	Lavado con CaCO ₃ o CaO	Wellman-Lord
	Doble álcali (NaOH/ Na ₂ CO ₃)	Lavado con Mg(OH) ₂
SEMI-SECA	Secado por atomización (con CaO)	
SECA	Inyección seca (en el horno de combustión o en la línea de depuración de gases)	Adsorción

Los procesos no regenerativos son los más utilizados hoy en día ya que los procesos regenerativos tienen unos costes muy superiores que no se ven compensados por la venta de subproductos (H₂SO₄, S elemental, etc.) y la regeneración del absorbente.

2. Enumere los sistemas de eliminación de H₂S de una corriente gaseosa.

Si el gas a tratar está a baja temperatura los principales tratamientos son:

- Absorción física
- Absorción química con aminas
- Absorción química inorgánica

Si el gas a tratar está a alta temperatura los principales tratamientos son:

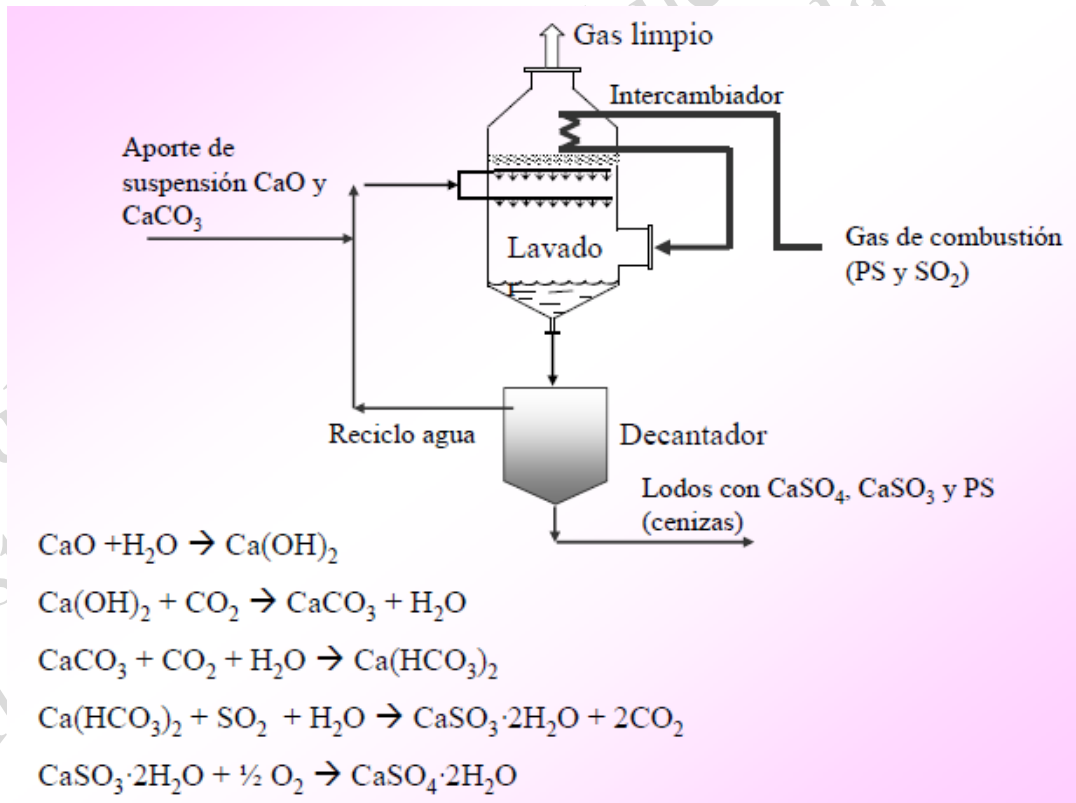
- Adsorción en reactor de gasificación
- Adsorción química en lecho externo

3. Indique el método de eliminación de SO₂ más utilizado

El método más utilizado para la eliminación de SO₂ es el **lavado con caliza (CaCO₃) o cal (CaO)**.

- Es una tecnología húmeda no regenerativa

- Consiste en lavar el gas con una suspensión de CaCO_3 o CaO , obteniendo sulfato cálcico como subproducto. La CaO es más cara que la CaCO_3 pero reacciona mejor y es más fácil de usar (forma menos depósitos de cal).
- Tiene elevada eficacia: 90%.
- Bajos costes de inversión y operación. Es una tecnología desarrollada y fiable.
- Principales inconvenientes: depósitos de cal, abrasión, gestión del subproducto (yeso).



4. Explique el proceso más empleado en la eliminación de H_2S

El proceso más empleado en la eliminación de H_2S es la **absorción química con aminas**:

- Ocurre una reacción química con presiones bajas o intermedias.
- Se emplea, con frecuencia, una amina secundaria (la más utilizada es la metildietanolamina (MDEA)). Esto se debe a que las aminas primarias, aunque son las más selectivas, son también las más corrosivas y las aminas terciarias, aunque son las menos corrosivas, son también las menos selectivas. Entonces, la utilización de una amina secundaria es una situación de compromiso.
- En estos sistemas existe una etapa de absorción y una etapa de recuperación de la disolución de aminas.

Sistemas de eliminación de compuestos orgánicos volátiles (COVs)

1. ¿Qué son los límites de ignición?

También llamados de límites de inflamabilidad, son las proporciones de combustible en los extremos rico (superior) y pobre (inferior) de una mezcla aire-combustible. Entre los **límites superior e inferior se propaga la llama en un proceso de combustión**, más allá de estos límites no se propagará la llama en un proceso de combustión y las mezclas serán seguras. Por encima de límite superior de inflamabilidad la llama no se propaga por falta de aire y exceso de combustible. Por debajo de límite inferior de inflamabilidad la llama no se propaga por falta de combustible y exceso de aire.

2. Defina cómo se lleva a cabo la selección de tratamientos para la eliminación de COVs.

La selección del tratamiento para la eliminación de los COVs se realiza teniendo en cuenta los **límites de ignición o inflamabilidad de la muestra gaseosa a tratar**. Definición de límites de ignición o inflamabilidad (pregunta anterior).

- I. **Mezcla gaseosa por encima el límite superior de ignición (LSI):** Se trata de una mezcla segura donde la concentración de COV es elevada y la concentración de aire es baja. **El tratamiento de eliminación se basa en la combustión directa con aire atmosférico en antorchas**, ya que la mezcla de gases presenta un poder calorífico suficiente para mantener la combustión en antorcha.
- II. **Mezcla gaseosa entre el límite superior de ignición (LSI) y el límite inferior de ignición (LII):** Se trata de una mezcla peligrosa. Se opera diluyendo la mezcla con aire hasta situarla por debajo del límite inferior de ignición.
- III. **Mezcla gaseosa por debajo del límite inferior de ignición (LII):** Se trata de una mezcla segura. En algunos casos se puede llevar a cabo la combustión con el propio aire de la mezcla y en otros, el bajo poder calorífico de la mezcla puede requerir el aporte de combustible adicional. Las tecnologías para la eliminación de COVs en este caso serían: **oxidación térmica o catalítica**.

3. Indique en qué casos se lleva a cabo la combustión en antorchas para la eliminación de COVs y describa en qué consiste dicho tratamiento de eliminación.

La **combustión en antorchas** se realiza cuando la **mezcla gaseosa a tratar se encuentra por encima el límite superior de ignición (LSI)**. En este caso, la mezcla a tratar es una mezcla segura donde la concentración de COV es elevada y la concentración de aire es baja. **Este tratamiento de eliminación de COVs se basa en la combustión directa con aire atmosférico en una antorcha**, ya que la mezcla de gases a tratar presenta un poder calorífico suficiente para mantener la combustión en antorcha.

Las **principales características de la combustión en antorchas para la eliminación de COVs** son:

- Pueden trabajar con grandes variaciones de caudal, concentración de VOCs, etc.
- Se pueden usar en operaciones en continuo, en discontinuo o con flujo variable.
- Mezclas COVs/aire con PC > 400 kcal/m³.
- La eficacia en la eliminación de COVs es elevada (98% aprox.)
- Aplicación: refinерías, petroquímicas, plantas de H₂, NH₃ o HCN, emisiones de biogás en depuradoras, etc.
- Inconvenientes:

- Puede ser una fuente de SO₂, NO_x y CO.
- No se puede utilizar en corrientes con halogenados.
- Se desaprovecha el calor generado en la combustión.

Existen dos tipos de antorcha:

- 1) **Antorchas de llama abierta (“elevated flares”)**: La altura puede ir desde nivel del suelo (poco habitual) hasta más de 100 m. Puede producir ruido, humo, radiación térmica, etc.
- 2) **Antorchas de llama cerrada (“enclosed ground flares”)**: Se encuentran a nivel de suelo y se utilizan cuando la radiación térmica, el calor o el ruido deben de controlarse por motivos de seguridad. De esta manera, la llama de la antorcha queda oculta. Mediante el tiro natural se alimenta el aire de combustión y se produce el enfriamiento de la corriente. La temperatura de operación es de unos 1000 °C y el tiempo de residencia 0,5 s.

4. Indique en qué casos se lleva a cabo la oxidación térmica de llama directa para la eliminación de COVs y describa en que consiste dicho tratamiento de eliminación.

La oxidación térmica de llama directa se realiza cuando la mezcla gaseosa se encuentra por debajo del límite inferior de ignición (LII), bien sea porque se encuentra por debajo del LII o bien porque se encontraba entre los límites superior e inferior de ignición y ha sido diluida con aire. Al encontrarse por debajo del LII se trata de una mezcla segura. En algunos casos se puede llevar a cabo la combustión con el propio aire de la mezcla y en otros, el bajo poder calorífico de la mezcla puede requerir el aporte de combustible adicional.

Las principales características de la oxidación térmica de llama directa para la eliminación de COVs son:

- Un equipo de oxidación térmica de llama directa funciona utilizando un quemador para calentar la cámara de oxidación y alcanzar así las temperaturas de oxidación necesarias para la destrucción de los VOCs.
- Si la corriente que contiene los VOCs tiene suficiente poder calorífico, puede utilizarse en el quemador. De otra forma, es necesario utilizar un combustible auxiliar para mantener la temperatura de la cámara (p.ej. gas natural).
- Este tipo de cámaras de oxidación alcanzan eficacias muy elevadas en la destrucción de VOCs, hasta un 99,9%, con bajas emisiones de NO_x y CO.
- En este tipo de sistemas no existe una recuperación del calor generado durante el proceso.

5. Indique en qué casos se lleva a cabo la oxidación térmica recuperativa y regenerativa para la eliminación de COVs y describa en que consiste ambos tratamientos de eliminación.

La oxidación térmica recuperativa y regenerativa se realizan cuando la mezcla gaseosa se encuentra por debajo del límite inferior de ignición (LII), bien sea porque se encuentra por debajo del LII o bien porque se encontraba entre los límites superior e inferior de ignición y ha sido diluida con aire. Al encontrarse por debajo del LII se trata de una mezcla segura. En algunos casos se puede llevar a cabo la combustión con el propio aire de la mezcla y en otros, el bajo poder calorífico de la mezcla puede requerir el aporte de combustible adicional.

La **oxidación térmica recuperativa y regenerativa** son una variante de la oxidación térmica de llama directa (ver respuesta 5) donde la principal diferencia es la recuperación del calor generado durante el proceso. Esta recuperación del calor se puede realizar mediante intercambiadores de calor aire/aire (de placas o de carcasa y tubos) (**oxidación térmica recuperativa**) o utilizando lechos cerámicos (reellenos al azar o monolitos) (**oxidación térmica regenerativa**).

En ambos sistemas, las eficacias de eliminación de VOCs son las mismas que en la oxidación térmica de llama directa: hasta un 99,9%. En la **oxidación térmica recuperativa** la eficiencia térmica (recuperación del calor) es del 60-70°C y la temperatura de los gases de salida depurados es de 260°C aprox. En la **oxidación térmica regenerativa** la eficiencia térmica (recuperación del calor) es del 95-98°C y la temperatura de los gases de salida depurados es de 90-150°C aprox.

6. Indique en qué casos se lleva a cabo la oxidación catalítica para la eliminación de COVs y describa en que consiste ambos tratamientos de eliminación.

La **oxidación catalítica** se realiza cuando la **mezcla gaseosa se encuentra por debajo del límite inferior de ignición (LII)**, bien sea porque se encuentra por debajo del LII o bien porque se encontraba entre los límites superior e inferior de ignición y ha sido diluida con aire. Al encontrarse por debajo del LII se trata de una mezcla segura. En algunos casos se puede llevar a cabo la combustión con el propio aire de la mezcla y en otros, el bajo poder calorífico de la mezcla puede requerir el aporte de combustible adicional.

Las **principales características de la oxidación catalítica para la eliminación de COVs** son:

- Se consigue la **oxidación de los COVs a temperaturas más bajas (250-400°C)** que las oxidaciones térmicas (de llama directa, recuperativas o regenerativas) **debido a la presencia del catalizador**. Los catalizadores utilizados pueden ser:
 - **Catalizadores de metal noble:** Los metales con aplicación industrial son Pt, Pd, Ag y Au. Suelen estar aleados con Ru, Rh, Os e Ir. A velocidades espaciales (=caudal de gas a tratar (m³/h): Volumen de catalizador (m³)) de 30.000-40.000 h⁻¹ se obtienen conversiones del 90-95%.
 - **Catalizadores de óxido metálico:** Son óxidos de V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni y Cu. Presentan menor actividad que los catalizadores de metal noble pero tienen mayor resistencia al envenenamiento. Se necesitan velocidades espaciales de 10.000-15.000 h⁻¹ para conversiones del 90-95%.
- Estos **equipos son compactos, ocupan menos espacio y al trabajar a menor temperatura, consumen menos combustible la oxidación térmica y producen menos NO_x**. Su principal inconveniente es el **coste del catalizador**.
- La **eficacia de eliminación** de VOCs es del **95-99%**.
- La **oxidación catalítica puede ser recuperativa**, con eficiencias térmicas del 60-80%.
- **Criterios de aplicación: Pequeños caudales de gases** (hasta 40.000 Nm³/h) y **bajas concentraciones de COVs** (0,1-10 g/Nm³).
- **Corrientes a tratar que no contengan venenos para el catalizador**.
- **Sectores industriales de aplicación:** Hornos de secado, instalaciones de pintura, instalaciones de fabricación de recubrimientos, imprentas, flexografía, fabricación

de productos químicos, depuración de terrenos contaminados, producción de plásticos y resinas, industria alimentaria, industria electrónica.

7. Indique y describa brevemente cuales son las tecnologías no destructivas para la eliminación de COVs. De todas ellas, ¿cuál es la más utilizada?

- **Condensación criogénica**, proceso que se basa en el enfriamiento de la corriente gaseosa a temperaturas extremadamente bajas, mediante nitrógeno líquido u otro fluido criogénico. El enfriamiento produce la condensación de los COVs y su separación de la fase gas.
- **Absorción física/química**, consiste en la retención de los contaminantes en una disolución acuosa en torres de lavado. Esta tecnología es aplicable en aquellos casos en que los compuestos sean solubles en agua (acetona, alcoholes, etc.).
- **Adsorción con carbón activo**, es la tecnología más utilizada dentro de las tecnologías no destructivas. Consiste en hacer pasar el aire a tratar a través de un lecho con un adsorbente que retiene los COVs. Está indicada para grandes caudales de aire y concentraciones de VOCs de hasta 10 g/m^3 . La eficacia de eliminación de VOCs es del 85-95%. Es un proceso semicontinuo: un lecho en operación y otro en regeneración. La regeneración del lecho mediante aumento de la temperatura o pasando vapor de agua o N_2 .

Dispersión de contaminantes en chimeneas: diseño de chimeneas

1. Indique el objetivo de una chimenea en la dispersión de contaminantes

Su objetivo es **diluir (no eliminar) los contaminantes y dispersarlos en la atmósfera**, logrando que la **concentración de inmisión** (aquella que se encuentra a nivel del suelo, es decir, la que afecta a los ecosistemas y seres vivos) **sea menor que la concentración establecida en la normativa normativa**.

2. ¿Cuáles son los parámetros de diseño de una chimenea?

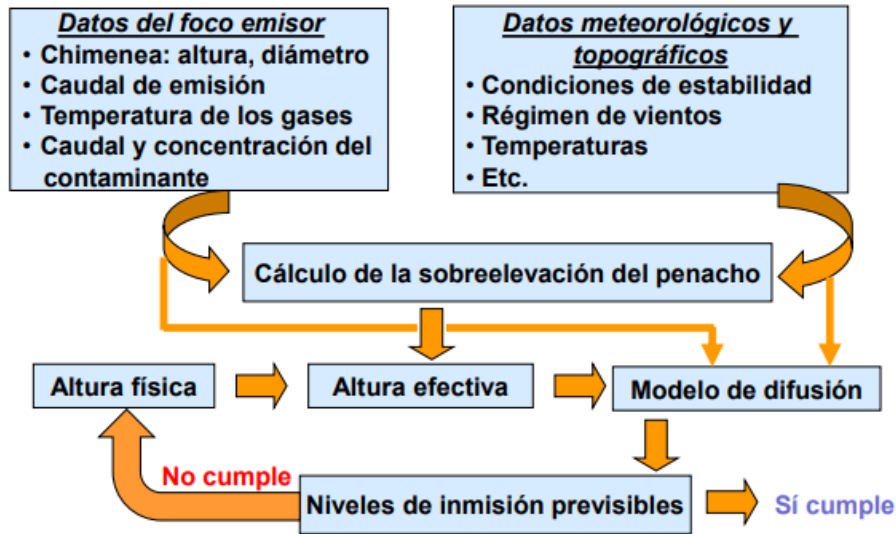
Los principales parámetros de diseño de una chimenea incluyen:

1. **Altura de la chimenea:** La altura de la chimenea es un parámetro clave, ya que ayuda a asegurar una adecuada dispersión de los contaminantes emitidos y evita que se acumulen a niveles peligrosos en áreas cercanas.
2. **Diámetro de la chimenea:** El diámetro de la chimenea está relacionado con el volumen de gases de combustión que debe ser evacuado. Un diámetro adecuado ayuda a garantizar una velocidad de salida de gases adecuada y evita problemas como el retroceso o el bloqueo del flujo.
3. **Velocidad de flujo:** La velocidad del flujo de gases dentro de la chimenea es un parámetro importante para asegurar una adecuada dispersión y dilución de los contaminantes emitidos. Una velocidad de flujo demasiado baja puede resultar en la acumulación de contaminantes, arrastres de la corriente hacia abajo, pérdida de flotabilidad y entrada de aire frío a la chimenea.
4. **Temperatura de los gases de combustión:** La temperatura de los gases de combustión es relevante para el diseño de una chimenea, ya que puede afectar la capacidad de dispersión y dilución de los contaminantes. Una temperatura baja puede producir la condensación de los contaminantes y, además, dificulta la circulación del gas por tiro natural. También puede influir en la selección de los materiales.
5. **Materiales:** El diseño estructural de la chimenea (carcasa exterior) debe asegurar su estabilidad y resistencia a las condiciones ambientales y cargas, como viento, sismos y condiciones atmosféricas adversas. La carcasa estructural no posee propiedades aislantes y solo se utiliza como soporte. Antiguamente se utilizaban ladrillos, pero en la actualidad se utiliza hormigón o acero. Para chimeneas con alturas inferiores a 60 m se suelen utilizar prefabricados. Además de la carcasa, también hay que considerar el aislante térmico y el revestimiento interno, que es el que va a estar en contacto con los gases.
6. **Necesidades de impulsión del gas a través de la chimenea.**

3. ¿Cómo se determina la altura de la chimenea?

La altura se puede determinar siguiendo el siguiente esquema:

Cálculo de la altura de chimeneas



La publicación o divulgación en Internet de datos y/o la de propiedad intelectual y/o la de propiedad de servicios de computación (o servicios de computación en Internet) puede vulnerar la normativa de protección de datos y/o la de propiedad intelectual y/o la de propiedad de servicios de computación (o servicios de computación en Internet) y generar responsabilidad de la persona infractora.

ANEXO 4: MATERIAL DOCENTE DE AUTOEVALUACIÓN RELATIVO AL BLOQUE DE GESTIÓN DE RESIDUOS

TEMA 7: GESTIÓN DE RESIDUOS

Conceptos generales

1. Defina residuo

Según la Directiva Marco de Residuos, un residuo es cualquier sustancia u objeto del cual su poseedor se desprenda o tenga intención u obligación de desprenderse.

2. Indique las principales normativas a nivel europeo y a nivel nacional aplicables a la gestión de residuos

A nivel europeo:

- Directiva Marco de Residuos 2008/98/CE
- Directiva (UE) 2018/851, de 30 mayo 2018

A nivel nacional:

- Ley 22/2011 de 28 de julio de residuos y suelos contaminados (**DEROGADA**)
- Ley 7/2022 de 8 de abril de residuos y suelos contaminados para una economía circular
- RD 646/2020, de 7 de julio, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero

3. Indique las diferencias entre la economía lineal y la economía circular

El modelo de **economía lineal** se basa en «extraer-producir-desechar»: extraer las materias primas para producir productos que una vez consumidos se convierten en residuos que son desechados al medioambiente.

En el modelo de **economía circular**, existe la posibilidad de convertir los residuos en un recurso, por lo que el valor de los productos y de los materiales se mantiene en la economía el mayor tiempo posible. De esta manera, se minimizan los residuos y el uso de los recursos, y cuando un producto llega al final de su vida útil, se repara, reacondiciona, reutiliza o recicla para seguir creando valor.



4. Explique en qué consiste la jerarquía en la gestión de residuos

La jerarquía de residuos se aplica como orden prioritario para la legislación y las políticas en materia de prevención y gestión de residuos. Constituye el pilar fundamental de la legislación

y las políticas de la Unión Europea (UE) en materia de residuos y está recogida por primera vez en la Directiva marco de la UE sobre residuos (Directiva 2008/98/CE). Así mismo es uno de los puntos clave en la Directiva (UE) 2018/851, de 30 mayo 2018 y en la Ley 7/2022 de 8 de abril de residuos y suelos contaminados para una economía circular.

Persigue un doble objetivo:

- reducir al mínimo los efectos negativos de la generación y la gestión de los residuos; y
- mejorar la eficiencia en el uso de los recursos.

La jerarquía se suele representar en forma de pirámide invertida, con las opciones más preferibles en el extremo superior y con la eliminación en la parte inferior como solución de último recurso para la gestión de los residuos:

- 1. Prevención.** La primera prioridad es evitar la generación de residuos. Se define como las medidas adoptadas antes de que una sustancia, un producto o un material se convierta en un residuo, que reducen:
 - la cantidad de residuos, también mediante la reutilización de los productos o la ampliación de su ciclo de vida;
 - los efectos adversos de los residuos generados sobre el medio ambiente y la salud humana; o
 - el contenido de sustancias peligrosas en materiales y productos.
- 2. Preparación para la reutilización.** Operaciones de valorización consistentes en la comprobación, limpieza o reparación, mediante las cuales productos o componentes de productos que se han convertido en residuos se preparan para que puedan reutilizarse sin ninguna otra transformación previa.
- 3. Reciclado.** Toda operación de valorización mediante la cual los materiales de residuos son transformados de nuevo en productos, materiales o sustancias, tanto si es con la finalidad original como con cualquier otra finalidad. Incluye la transformación del material orgánico (p. ej., compostaje), pero no la valorización energética ni la transformación en materiales que se vayan a usar como combustibles o para operaciones de relleno.
- 4. Valorización** (incluida la valorización energética). Cualquier operación cuyo resultado principal sea que el residuo sirva a una finalidad útil al sustituir a otros materiales que de otro modo se habrían utilizado para cumplir una función particular, o que el residuo sea preparado para cumplir esa función, en la instalación o en la economía en general.
- 5. Eliminación.** Cualquier operación que no sea la valorización, incluso cuando la operación tenga como consecuencia secundaria el aprovechamiento de sustancias o energía (p. ej., vertido o incineración).



5. Explique cómo se clasifican los residuos

Los residuos se pueden clasificar atendiendo a tres criterios:

- I. Según su origen.
 - *Domésticos (residuos sólidos urbanos-RSU o municipales):*
 - generados en la actividad doméstica.
 - asimilables generados en la actividad comercial e industrial.
 - *Industriales:*
 - generados en procesos fabriles, de transformación, o en la limpieza, uso o mantenimiento de instalaciones industriales.
- II. Según su riesgo.
 - *No peligrosos.*
 - *Peligrosos:* Aquellos que cumplan alguna característica del Anexo I de la ley 7/2022 de residuos y suelos contaminados para una economía circular
- III. Según su biodegradabilidad: (lo añade la ley 7/2022, respecto a la ley 22/2011)
 - *Biodegradables*
 - *No biodegradables.*

6. Defina “subproducto” y “fin de la condición de residuo” de acuerdo a la Directiva Marco de Residuos (DMR)

Subproducto:

Sustancia u objeto resultante de un proceso de producción, cuya finalidad primaria no sea la producción de esa sustancia u objeto, que:

- Es seguro que va a ser utilizado ulteriormente.
- Puede utilizarse directamente sin tener que someterse a una transformación ulterior distinta de la práctica industrial normal.
- Se produce como parte integrante de un proceso de producción.
- Tiene un uso ulterior legal, es decir, que cumple todos los requisitos pertinentes aplicables, relativos a los productos y a la protección del medio ambiente y de la salud, y que no producirá impactos adversos para el medio ambiente o la salud humana.

Fin de la condición de residuo:

Determinados residuos específicos podrán dejar de ser residuo, cuando hayan sido sometidos a una operación de valorización, incluido el reciclado, y cumplan los criterios específicos que se elaboren con arreglo a las condiciones siguientes:

- Las sustancias u objetos resultantes se usen habitualmente para finalidades específicas;
- Exista un mercado o una demanda para dichas sustancias u objetos;
- Las sustancias u objetos resultantes cumplan los requisitos técnicos para finalidades específicas, la legislación existente y las normas aplicables a los productos; y
- El uso de la sustancia u objeto resultante no genere impactos adversos para el medio ambiente o la salud

7. Defina prevención de residuos

La adopción de medidas antes de que una sustancia, material o producto se haya convertido en residuo, para reducir:

- a) la cantidad de residuo - **prevención cuantitativa**, Ej. reutilización de los productos, alargamiento de la vida útil de los productos;
- b) los impactos adversos sobre el medio ambiente y la salud humana de la generación de residuos, o
- c) el contenido de sustancias nocivas en materiales y productos.

Estas dos últimas son formas de **prevención cualitativa**.

8. Defina la preparación para la reutilización de residuos

La preparación para la reutilización no es una forma de prevención, sino que está en un escalón inmediatamente inferior a la prevención en la jerarquía de residuos. Consiste en comprobar, limpiar o reparar, para que el producto o los componentes de los productos que se hayan convertido en residuos puedan reutilizarse sin ninguna otra transformación previa.

9. Defina el reciclaje de residuos

Consiste en el proceso de transformación de los materiales de residuos de nuevo en productos, materiales o sustancias, tanto si es con la finalidad original como con cualquier otra finalidad.

Es un tipo de valorización material del residuo que consiste en recuperar cada uno de los materiales mediante un proceso de transformación para dar nuevos productos con la misma o distinta finalidad que el material virgen. Incluye la transformación del material orgánico, pero no la valorización energética ni la transformación en materiales que se vayan a usar como combustibles o para operaciones de relleno.

10. Defina valorización de residuos

Cualquier operación cuyo resultado principal sea que el residuo sirva a una finalidad útil al sustituir a otros materiales que de otro modo se habrían utilizado para cumplir una función particular, o que el residuo sea preparado para cumplir esa función, en la instalación o en la economía en general.

En el anexo II de la DMR se recoge una lista de operaciones de valorización, que incluye las operaciones reciclaje. La valorización energética sólo se contempla como tal si la eficiencia energética del proceso supera un umbral que depende de diferentes factores y se calcula según método y ecuaciones recogidas en el anexo II de la ley 7/2022; en caso contrario se considera una operación de eliminación.

11. Defina eliminación de residuos

Cualquier operación que no sea la valorización, incluso cuando tenga como consecuencia secundaria el aprovechamiento de sustancias o energía. El anexo I de la DMR contiene una lista de operaciones de eliminación.

12. Explique las diferencias entre valorización energética e incineración de un residuo

La valorización energética y la incineración de residuos son conceptos relacionados, pero con enfoques y objetivos diferentes. Ambos procesos implican la combustión controlada de residuos para generar energía.

- La valorización energética se incluye en la jerarquía de residuos dentro de la estrategia de VALORIZACIÓN, ya que se centra en aprovechar la energía contenida en los residuos para su posterior uso, como la generación de electricidad o la producción de calor.
- La incineración está incluida en la jerarquía de residuos dentro de la estrategia de ELIMINACIÓN, cuyo objetivo principal no es la obtención de energía calorífica, si no la reducción del volumen del residuo y/ o la eliminación de su contenido.

La valorización energética sólo se contempla como tal si la eficiencia energética (EE) del proceso supera un umbral de EE que depende de diferentes factores como el Poder Calorífico Inferior (PCI) de los residuos, la energía anual producida, la energía consumida no procedente de los residuos, etc. En las instalaciones de valorización energética la $EE > EE_{\text{umbral}}$; y en las instalaciones de eliminación, la $EE < EE_{\text{umbral}}$.

Gestión de residuos

13. ¿Qué son los Sistemas Integrados de Gestión de residuos (SIG)? Indique algunos ejemplos

Son el conjunto de relaciones, procedimientos, mecanismos y actuaciones que, previa autorización y supervisión de las Comunidades Autónomas en cuyo ámbito territorial se implanten, ponen en marcha los agentes económicos interesados, con la finalidad de garantizar la recogida selectiva de los residuos. Estos son puestos en marcha por los agentes económicos interesados, mediante acuerdos voluntarios aprobados o autorizados por las Administraciones públicas competentes, o mediante convenios de colaboración de éstas.

Se encargan de la recogida, transporte, almacenamiento y reciclado de los residuos. Además, de la vigilancia de estas operaciones y de los lugares de descarga.

Ejemplos: ECOEMBES (para envases ligeros), SIGRE (para medicamentos), TNU (para neumáticos usados), etc...

14. ¿Cómo se gestionan de los residuos domésticos en España?

Los residuos se dividen en diferentes flujos de residuos, algunos con su propio SIG y/o recogida separada como son los envases ligeros, papel y cartón, RAEE (aparatos eléctricos y electrónicos), textiles, aceites, medicamentos, residuos voluminosos, etc, que se llevan a instalaciones específicas de separación, preparación para la reutilización (por ejemplo, en el caso de la ropa o algunos RAEE, reciclado o tratamientos de estabilización. La fracción orgánica en la mayoría de los casos se recoge junto a la fracción resto, aunque algunos municipios ya tienen recogida separada. En el caso de tener recogida separada ésta se lleva a una instalación de compostaje o biometanización. En caso contrario, va junto con la fracción resto y es separada en las instalaciones de selección y clasificación de esta fracción, para su aprovechamiento mediante compostaje, biometanización o gasificación. La ley 7/2022 obliga a que para la fracción orgánica se valore completamente no pudiendo acabar en el vertedero. La fracción resto es todo aquello que no esté sujeto a recogida separada, si tiene recogida separada no debería encontrarse en esta fracción. Se puede llevar a instalaciones de selección y clasificación, tratamiento mecánico-biológico, incineración (valoración energética), depósitos con o sin recuperación energética.

15. Indique y describa brevemente los principales aspectos a considerar en la gestión de los residuos peligrosos

Las principales etapas en la gestión de residuos son:

- 1. Almacenamiento:** El productor o gestor de residuos peligrosos está obligado a mantener los residuos almacenados en condiciones adecuadas de higiene y seguridad mientras se encuentren en su poder. La duración máxima del almacenamiento es de 6 meses. Está prohibido mezclar o diluir los residuos peligrosos
- 2. Envasado** (de acuerdo a la Ley 7/2022 y Reglamento (CE) 1272/2008, de 16 de diciembre de 2008): El envase deberá estar concebido y realizado de modo que se evite la pérdida del contenido, excepto cuando estén prescritos otros dispositivos de seguridad más específicos; los materiales con los que estén fabricados los envases y los cierres no deberán ser susceptibles al daño provocado por el contenido ni formar, con este último, combinaciones peligrosas; los envases y los cierres habrán de ser fuertes y sólidos en todas sus partes con el fin de impedir holguras y responder de manera segura a las exigencias normales de manipulación; los envases con un sistema de cierre reutilizable habrán de estar diseñados de forma que puedan cerrarse repetidamente sin pérdida de su contenido.

3. Etiquetado (Reglamento (CE) 1272/2008, de 16 de diciembre de 2008): Debe ser claro, legible e indeleble, al menos en la lengua española oficial del Estado. En la etiqueta deberá figurar:

- El código LER y la descripción del residuo así como el código y la descripción de las características de peligrosidad de acuerdo con el anexo I.
- Nombre, NIMA, dirección, postal y electrónica, y teléfono del productor o poseedor de los residuos.
- Fecha en la que se inicia el depósito de residuos.
- La naturaleza de los peligros que presentan los residuos, que se indicará mediante los pictogramas descritos en el Reglamento (CE) n.º 1272/2008 del Parlamento y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008.
- Cuando se asigne a un residuo envasado más de un pictograma, se tendrán en cuenta los criterios establecidos en el artículo 26 del Reglamento (CE) n.º 1272/2008. En la etiqueta se harán constar todos los pictogramas de peligro que se le asignen al residuo.

4. Información: Los productores de residuos peligrosos están obligados a informar a la administración ambiental competente en caso de desaparición, pérdida o escape de residuos peligrosos o de aquellos que por su naturaleza o cantidad puedan dañar el medio ambiente.

5. Trazabilidad: Cuando se trasladan residuos peligrosos, bien sea en el interior del territorio del Estado o bien desde o hacia otros países, los residuos peligrosos deben ir acompañados de un documento de identificación en el que figuren los datos relativos tanto productor, como al gestor, medio de transporte y características de peligrosidad del residuo, así como su código LER.

6. Prevención de residuos peligrosos: Los productores de residuo peligrosos están obligados a presentar anualmente a las Comunidades Autónomas un estudio de minimización de residuos peligrosos, quedando exentos de esta obligación los pequeños productores de residuos peligrosos, es decir los que generen menos de 10 toneladas.

16. Indique y describa la composición de los residuos domésticos, indicando brevemente alternativas para su gestión.

- Residuos de recogida selectiva: Envases ligeros, Papel y cartón, Voluminosos, RAEE, textiles y peligrosos. Se gestionan en instalaciones específicas de separación, preparación o reciclado o tratamiento de estabilización. Sistemas Integrados de Gestión
- Fracción orgánica: Denominada también biorresiduos, está formada por restos de naturaleza orgánica (restos de comida, restos vegetales, ...). Se pueden valorizar mediante compostaje o biometanización.
- Fracción resto: Se refiere a todos aquellos residuos que no estén sujetos a recogidas separadas por parte de los entes locales. Entre ellos se encuentran el textil sanitario (pañales, compresas), productos de aseo (cepillo de dientes), residuos de limpieza doméstica (polvo), residuos de cerámica, etc... Se pueden incinerar o aplicar tratamientos térmicos de valorización como la gasificación, la pirolisis o la meriólisis.

Tratamientos de residuos

17. Describa brevemente las etapas de tratamiento de la fracción orgánica y resto de los RSU.

Etapla 1. Depósito y recogida. La fracción orgánica y resto depositada en los contenedores son recogidos en camiones para ser trasladados al punto de procesamiento.

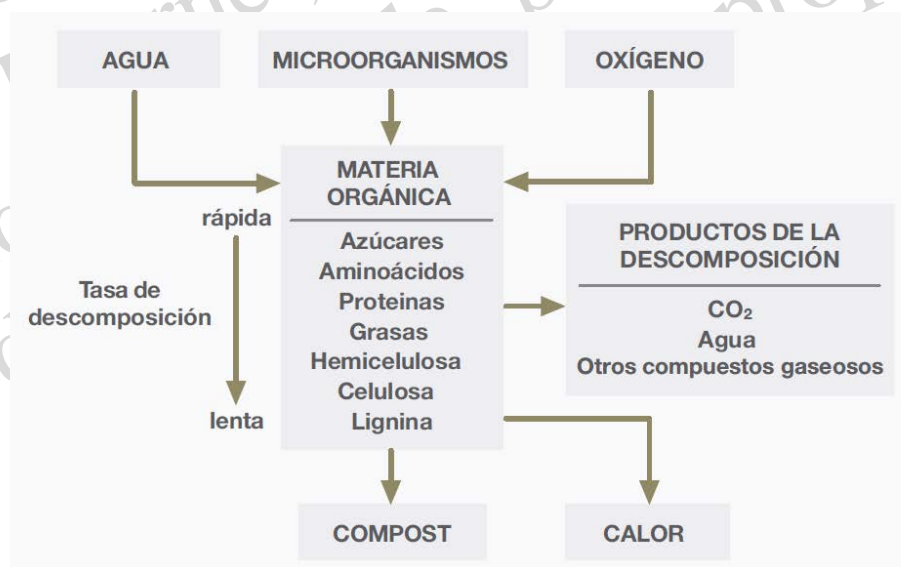
Etapla 2. Transporte: puede ser llevada a plantas de clasificación, de transferencia, de valorización energética o vertedero. Las **plantas de transferencia** son instalaciones en donde se descarga y almacenan temporalmente los residuos para poder transportarlos posteriormente en vehículos de mayor capacidad a las distintas instalaciones para su tratamiento. Ahorran costes de transporte y evitan la contaminación por vertido en zonas no aptas. Tipos: trasvase sin compactación, con compactación (más comunes) o mixtas.

Etapla 3. Procesamiento (tras su fraccionamiento en instalaciones de selección y clasificación): Dependiendo del grado de clasificación se pueden llevar a cabo los siguientes tratamientos:

- Tratamientos bioquímicos (compostaje y biometanización): fracción orgánica
- Tratamientos térmicos (valorización energética y incineración): fracción resto
- Vertido controlado: fracción orgánica y resto

18. Describa el proceso de compostaje para la fracción orgánica de los RSU, como tratamiento de valorización material.

El compostaje consiste en la digestión **aerobia (con aire)** de la biomasa en presencia de microorganismos aerobios, en condiciones de ventilación, humedad y temperatura controladas para transformar los residuos orgánicos en compost (material estable e higienizado) útil como enmienda orgánica. El transporte del compost es más costoso que éste, por lo que las plantas de compostaje suelen estar cerca de las zonas de aprovechamiento de este.



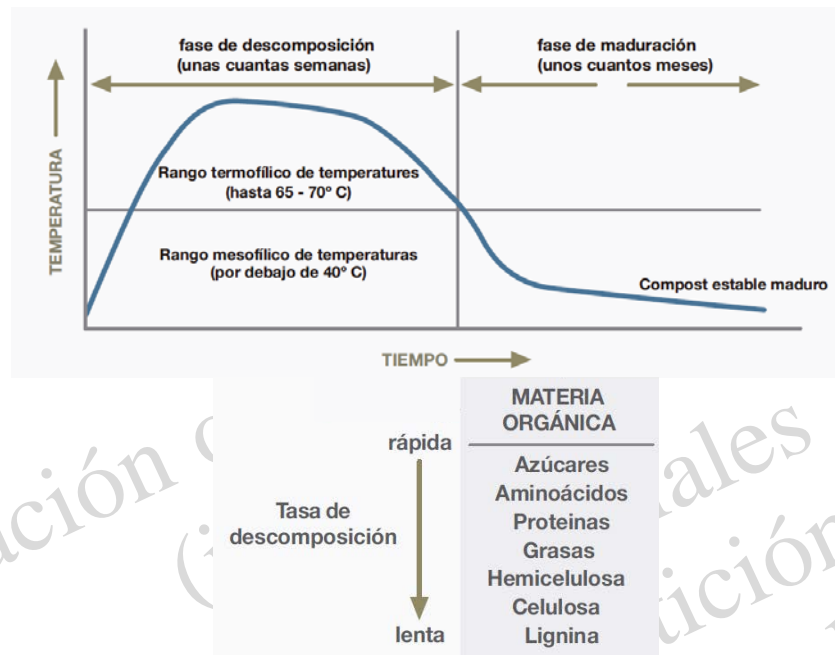
Para mantener las condiciones aerobias existen diferentes tipos de instalaciones:

- Pilas (volteo manual), las más económicas y empleadas. El residuo se dispone en forma de montones (pilas) se voltean con cierta frecuencia (al menos diaria) para que el oxígeno llegue a todo el residuo.

- Túneles de compostaje, permiten reducir notablemente el tiempo de residencia al introducir el aire necesario para la degradación mediante aireación forzada, por lo que según el precio y disponibilidad del terreno pueden ser la mejor opción.
- Tambores de compostaje, que son cilindros en los que se introduce el residuo, que giran lentamente y voltean en residuo produciendo su aireación con mayor eficacia que el volteo manual.
- Compostaje en nave cerrada con volteo automático.
- Estabilización en trincheras

Las principales etapas del compostaje son:

1. **Acondicionamiento:** Se alimenta la fracción orgánica de RSU. Hay un acondicionamiento del tamaño 25-27 mm, de la porosidad, relación C/N entre 25-40 y humedad 50-60%, que a veces se ajusta con la incorporación de restos de poda, ricos en celulosa y lignina. La selección de los RSU no es tan exigente como en el caso de la biometanización, porque el proceso no es tan sensible a impropios y éstos pueden retirarse más adelante en la operación de afino.
2. **Mezcla y siembra:** Parte del compost crudo obtenido en la etapa de degradación aerobia del compostaje se recircula para emplearlo como siembra o inóculo. Este inóculo está entre el 1% y el 5% de los sólidos a compostar y contiene la mezcla de microorganismos óptima en su máximo punto de crecimiento, por lo que aporta la microbiota necesaria para la degradación. Para que se puedan formar los ácidos húmicos y para aportar porosidad al residuo se mezcla éste también con residuos de poda frescos o recirculados de la etapa de afino.
3. **Fermentación aerobia:** En esta etapa se generan gases de compostaje (CO_2 y vapor de agua) y lixiviados, que se recogen en piscinas y se emplean para mantener la humedad del residuo durante todo el proceso, que debe estar entre el 50 y el 60%. En zonas muy húmedas, donde se puede dar un exceso de lixiviados, este exceso debe tratarse en una EDAR. Las fases en que se lleva esta fermentación son:
 - **Descomposición:** degradación de las moléculas más biodegradables. Como consecuencia del rápido crecimiento de la microbiota y de su metabolismo exotérmico, la temperatura del residuo aumenta hasta 60-70°C. Se debe mantener a esa temperatura durante 24h para la pasteurización (eliminación de patógenos hasta niveles seguros). Al ser un proceso aerobio es necesario aportar oxígeno. Esto se puede llevar a cabo de diferentes formas: mediante volteo manual o automático o mediante túneles de aireación. En ambos casos, la aireación conlleva un gasto energético. Esta etapa dura entre 4 y 6 semanas, que pueden reducirse a 2-4 semanas si la aireación es mediante túneles de aireación en lugar de volteo. En esta etapa se alcanzan los niveles máximos de población en la microbiota, por lo que parte del compost (compost crudo) producido se emplea para la etapa de siembra. El resto se lleva a la etapa de maduración.
 - **Maduración:** entre 6-10 semanas, se produce la estabilización, por la propia evolución de las diferentes poblaciones de microorganismos que forman la microbiota y sus cadenas tróficas, y formación de antibióticos. Formación de moléculas similares a las húmicas a partir de la celulosa y lignina, proceso denominado “humidificación de la materia orgánica”, estos ácidos húmicos son esenciales en la fertilización del suelo.



4. Acondicionamiento del producto o afino: para obtener el compost comercial se separan por afino los compuestos que no se han degradado completamente y plásticos que no se degradan. Es observable los compuestos no degradados ya que el compost es homogéneo. Esta etapa puede llevarse a cabo antes de la maduración o después.

19. Describa el proceso de biometanización para la fracción orgánica de los RSU, como tratamiento de valorización material.

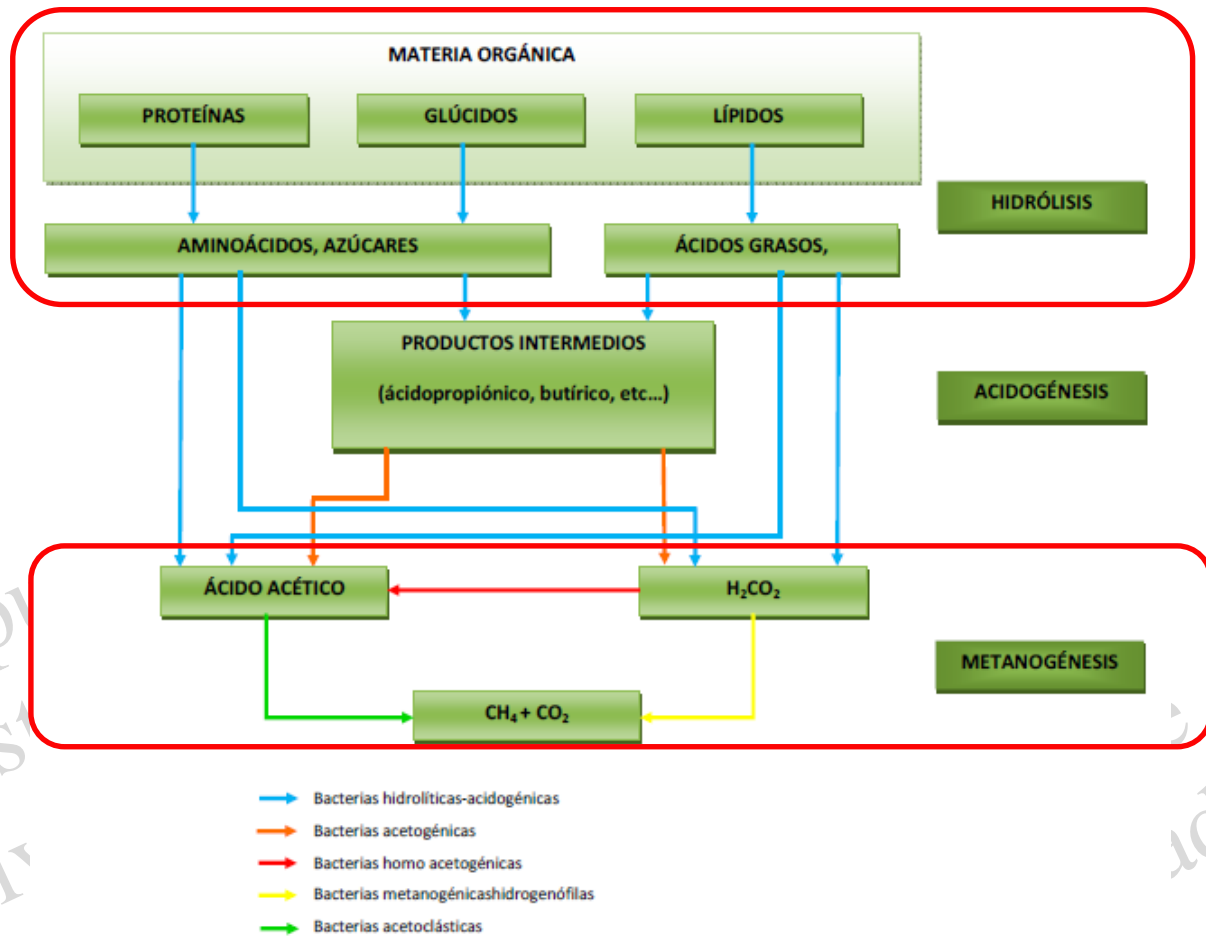
La biometanización consiste en la digestión **anaerobia** (en ausencia de oxígeno) de la biomasa húmeda a lo largo de varias etapas en las que intervienen una población heterogénea de microorganismos, permite transformar la fracción más degradable de la materia orgánica en biogás, una mezcla de gases formada principalmente por metano y dióxido de carbono y por otros gases en menor proporción (vapor de agua, CO, N₂, H₂, H₂S,...).

El biogás es una fuente de energía secundaria ya que es un gas combustible de elevada capacidad calorífica (5.750 Kcal/m³), lo que le confiere características combustibles ideales para su aprovechamiento energético en motores de cogeneración, calderas y turbinas (generando electricidad, calor o biocarburante).

Es un proceso complicado por la poca homogeneidad de los RSU, por lo que está más estandarizado utilizando lodos de depuradora.

Se desarrolló para lodos de depuradora, y con este fin está completamente implantado desde hace décadas. Por esta razón, la fracción orgánica de RSU se mezcla habitualmente con lodos de depuradora, que, además de mejorar las características del residuo, aporta la microbiota necesaria para degradarlo. La biometanización es muy sensible a los impropios que acompañan a la materia orgánica, por lo que sólo se emplea para la fracción orgánica recogida separadamente, que tiene menos impropios, y tras una exhaustiva selección.

La digestión anaerobia se desarrolla en múltiples etapas, pero las fases principales son una **primera hidrolítica fermentativa** y una **final metanogénica**. En la etapa de fermentación hidrolítica intervienen microorganismos anaerobios que degradan las proteínas, los glúcidos y los lípidos a compuestos de menor peso molecular como aminoácidos, azúcares simples o ácidos grasos, que finalmente se transforman en metano y CO₂ por la acción de las bacterias metanogénicas, en la etapa de metanogénesis.



Según la humedad del residuo, el proceso se puede llevar a cabo por **vía húmeda** (materia seca menos del 20%, usado para lodos de depuradora, se requiere añadir agua previa a la digestión del residuo) o por **vía seca** (sólidos entre 20-40%, el movimiento en el digestor se da por acción mecánica o por recirculación del gas).

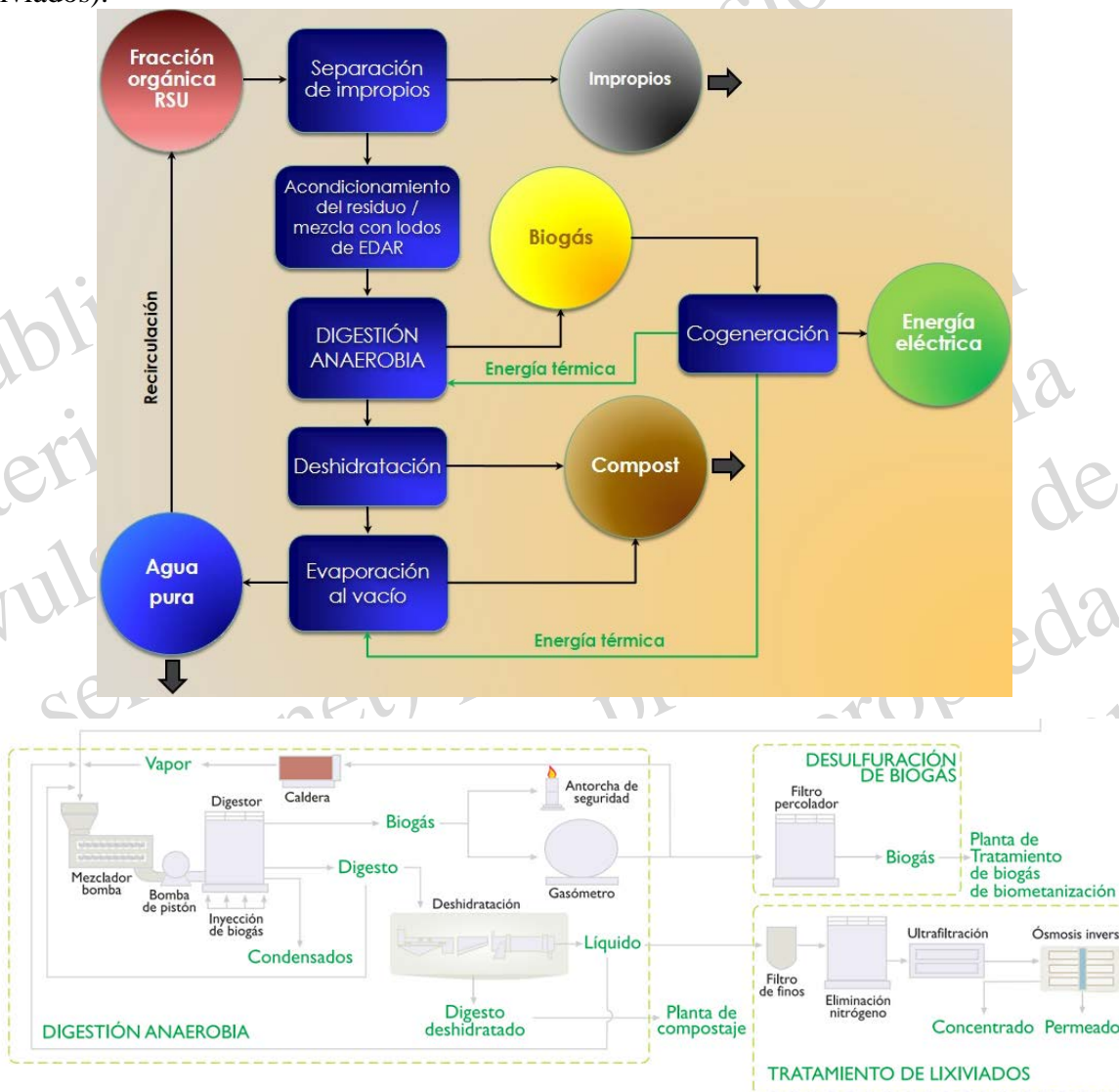
El tipo de sustrato a digerir influye en gran medida en el rendimiento y en la composición del biogás obtenido. Para una producción máxima es preferible utilizar sustratos ricos en grasas, proteínas e hidratos de carbono, ya que su degradación conlleva la formación de cantidades importantes de ácidos grasos volátiles, precursores del metano. Por ello, es aconsejable que se trate la materia orgánica procedente de recogida separada para evitar muchos de los problemas producidos por la acumulación de impropios o evitar colmataciones de ciertas partes del circuito de digestión. Es necesario además optimizar la mezcla de materiales a digerir para aumentar el rendimiento en metano.

Las instalaciones de biometanización de residuos orgánicos municipales constan de las siguientes etapas:

1. Selección más o menos compleja según el origen de los residuos y el tipo de recogida establecido y que coincide con la realizada en las instalaciones de compostaje.
2. Acondicionamiento del material para su digestión (reducción de su granulometría, ajuste del contenido en sólidos totales, mezcla con efluente recirculado, ...).
3. Digestión anaerobia.
4. Deshidratación, separación de fases líquida/sólida.
5. Tratamiento de la fracción líquida del digestato y de otras aguas residuales generadas.
6. Estabilización aerobia de la fracción sólida del digestato.

7. Recogida y aprovechamiento del biogás producido, que puede ser utilizado para la cogeneración de calor y electricidad, además de poderse purificar e inyectar en la red de distribución de gas o ser utilizado en vehículos.

El digestato obtenido se deshidrata, obteniendo una fase sólida que, una vez acondicionada aeróbicamente, puede utilizarse como compost. La parte líquida se puede llevar a evaporación para obtener agua o se puede llevar a la planta de tratamiento de aguas (tratamiento de lixiviados).



20. Indique las principales diferencias entre el compostaje y la biometanización en forma de tabla

	Biometanización	Compostaje
Adecuación materiales/Mezclas Digestión	Se requiere una elevada contenido DBO y bajo contenido en S. humedad superior al 60% y C/N entre 10 y 30 Exhaustiva selección, muy sensible a impropios y puede hacer falta un macerado o algún tipo de tratamiento térmico para evitar microorganismos letales para las metanogénicas Puede requerir calefacción	Necesita añadir materiales complementarios que aporten porosidad, equilibren humedad y proporción C/N. restos vegetales de poda

	Genera energía en forma de biogas	Consume energía mecánica para la aireación
Productos crudos	Fracción Líquida digestato: pH básico, CE muy elevada, elevado contenido en N-NH ₄ y DQO.	Material inmaduro: pH neutro, CE mediana, Humedad 40%, moderado contenido en N-NH ₄ , niveles importantes de MO medio estabilizada
Maduración	Se estabiliza en condiciones aerobias tras complementar con materiales que corrija la elevada proporción de N amoniacal y la porosidad.	Producto de final de la descomposición necesita finalizar la estabilización durante una fase en que hay reconstrucción de moléculas de elevado peso molecular y fijación de N en sus estructuras.

CARACTERÍSTICA	COMPOSTAJE	BIOMETANIZACIÓN
Digestión	Aerobia	Anaerobia
Materia orgánica transformada	La más biodegradable en oxígeno	La más biodegradable en biogas
Energía	Consume	Genera
Producto	Compost	Biogas

21. Describa brevemente los principales procesos térmicos para el tratamiento de la fracción resto de los RSU.

Los principales procesos térmicos aplicables a la fracción resto de los RSU son: incineración (eliminación), valorización térmica: gasificación pirolisis y meriólisis.

Incineración: se alimenta la fracción resto y se realiza con exceso de oxígeno para lograr la oxidación completa y con temperaturas entre **900-1200°C**. En el caso de la fracción resto, la humedad que ésta contiene hace que normalmente no se alcance la eficacia energética umbral, por lo que se considera una **eliminación**. Como resultado del proceso de incineración se obtiene:

- Gases de combustión, compuestos principalmente por CO₂, H₂O, O₂ no reaccionado, N₂ del aire empleado para la combustión y otros compuestos en menores proporciones procedentes de los diferentes elementos que formaban parte de los residuos. Los componentes minoritarios presentes dependerán de la composición de los residuos tratados. Así pues, pueden contener gases ácidos derivados de reacciones de halógenos, azufre, metales volátiles o compuestos orgánicos (como dioxinas y furanos) que no se hayan oxidado. Finalmente, los gases de combustión contendrán partículas, que son arrastradas por los gases.
- Residuo sólido, compuesto fundamentalmente por escorias inertes, cenizas y residuos del sistema de depuración de los gases de combustión.
- El calor que llevan los gases a la salida de la cámara de postcombustión, se puede aprovechar para calentar agua, que se utiliza como calefacción o como generador de vapor para usos industriales o para generar energía eléctrica mediante un conjunto de turbina de vapor y alternador.

Gasificación: Es un proceso de **valorización** que consiste en la transformación de un residuo en gas de síntesis (CO + H₂) mediante su oxidación en déficit de oxígeno de forma similar a la gasificación de carbón a una temperatura de **750-850°C**. Es apto para residuos heterogéneos

(fracción resto) y reduce el volumen del residuo un 90%. Las cenizas son inertes y aprovechables en construcción. En implantación, aunque ya hay varios proyectos en España y algunas plantas funcionando, uno de ellos en el municipio de Barcelona.

Pirólisis: Es un proceso de **valorización** que consiste en la descomposición térmica de un residuo en ausencia de oxígeno a **300-800 °C**. Usada normalmente con biomasa lignocelulósica que por efecto del calor se descompone produciendo un gas rico en metano, unos líquidos (alquitranes, aceites) y un sólido o coque, similar al carbón vegetal.

Meriólisis: Es un proceso de valorización basado en la descomposición térmica de un residuo a presión y temperatura **650°C-1200°C** en ausencia de oxígeno. En estas condiciones se obtiene gas de síntesis (CO, CO₂, H₂), una fracción líquida (fuel búnker) y un sólido (biochar, humo de carbón, mejorantes de suelo).

22. Defina vertedero y vertedero controlado.

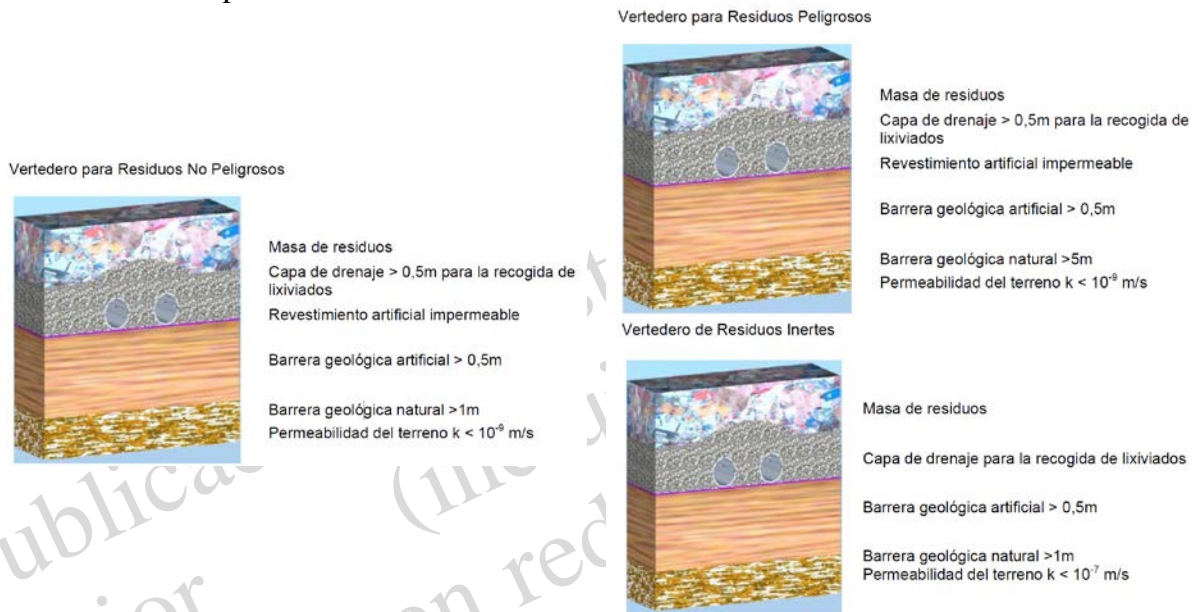
Vertedero: Instalación de eliminación de residuos mediante su depósito subterráneo o en superficie, por períodos de tiempo superiores a los considerados para el almacenamiento temporal.

Vertederos controlados: Depósitos en los que existe una impermeabilización total del suelo, unos sistemas de canalización de lixiviados y tuberías que recogen el biogás que se forma en su interior. Actualmente está totalmente prohibido el vertido de residuos de manera no controlada.

23. Indique los tipos de vertedero de acuerdo al RD646/2020 indicando sus principales características.

- **Vertederos de residuos no peligrosos:** residuos urbanos, residuos no peligrosos no reactivos o provenientes de estabilización. El vaso debe tener una impermeabilización total del suelo, necesitan incorporar un revestimiento artificial impermeable y se exige una barrera geológica natural de al menos 1 m con una permeabilidad inferior a 10^{-9} m/s con canalizaciones de lixiviados y tuberías para recoger el biogás. Los lixiviados de vertederos jóvenes (<2 años) tienen alta DQO por lo que no se pueden llevar a EDAR, los de los vertederos viejos sí. Por lo tanto, el vertedero debe estar equipado con una planta para el tratamiento de los lixiviados para adecuar su composición a la exigida por la EDAR y una planta de aprovechamiento de biogás para producir energía, o en su defecto, una antorcha para evitar la liberación de metano al ambiente.
- **Vertederos de residuos peligrosos (depósitos de seguridad):** no hay producción de gases porque no hay materia orgánica, por lo que no es necesario el drenaje de gases, pero sí deben estar perfectamente impermeabilizados y disponer de tuberías de drenaje de lixiviados para evacuar las posibles filtraciones y como medida de seguridad, ya que no tienen por qué formarse lixiviados si el residuo está perfectamente inertizado y la cubierta perfectamente sellada. El vaso debe tener una impermeabilización total del suelo, necesitan incorporar un revestimiento artificial impermeable y se exige una barrera geológica natural de al menos 5 m con una permeabilidad inferior a 10^{-9} m/s con canalizaciones de lixiviados y tuberías para recoger el biogás.
- **Vertederos para residuos inertes:** son residuos no peligrosos que no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas. No son solubles, ni combustibles, ni reaccionan física o químicamente ni de ninguna otra forma, ni son biodegradables, ni afectan negativamente a otras materias. La lixiviablez total, el contenido de contaminantes de los residuos y la ecotoxicidad del lixiviado deberán ser insignificantes, y en particular no deberán suponer un riesgo para la calidad de las aguas superficiales y/o subterráneas. Se exige una barrera geológica natural de al menos 1 m

con una permeabilidad inferior a 10^{-7} m/s. No necesitan incorporar un revestimiento artificial impermeable.



24. Describa brevemente los distintos tipos de explotación de los vertederos controlados.

- **Compactación “in situ”:**

Se produce como consecuencia de la circulación de la maquinaria encargada de distribuir los residuos y extender la capa de tierra que se utiliza como recubrimiento.

Este sistema presenta como ventajas la reducción del volumen de los residuos y un menor asentamiento del relleno.

Los inconvenientes proceden de la insuficiente compactación, que impide que los camiones de recogida puedan circular por encima de los residuos depositados. Por otra parte, es necesario realizar la cubrición diaria con tierras, para evitar la dispersión por el viento de plásticos y papeles y la proliferación de roedores. Una vez hecha la cubrición, ya no penetra más oxígeno; su agotamiento lleva al desarrollo de procesos anaerobios, con lo que se alarga mucho la descomposición de la materia orgánica, aunque posibilita el aprovechamiento energético de los residuos recogiendo el gas producido por su descomposición.

- **Trituración previa:**

Antes de depositar los residuos en el vertedero se realiza una trituración de los mismos en instalaciones aparte, llegándose a la obtención de pequeños fragmentos. De esta forma se obtiene una masa más homogénea y con menores huecos, aumentando la densidad del relleno. Si el tamaño de los fragmentos es demasiado pequeño, la compactación puede ser tan alta que la aireación es prácticamente imposible, produciéndose preferentemente degradaciones anaeróbicas con formación de bolsas de gas. Por el contrario, si los fragmentos son muy grandes, puede no reducirse de forma significativa el volumen total ocupado por los residuos.

No es necesario proceder al recubrimiento diario, realizándose cuando se clausura el vertedero. Esto es una ventaja importante al poder prescindirse del material de cobertura. Además, se reducen las infiltraciones al suelo y se consigue más fácilmente la estabilización del suelo.

No obstante, el sistema tiene el inconveniente que depende de una planta de trituración que consume energía y requiere un cuidadoso sistema de explotación. Y, en cualquier caso, es necesaria una zona especial para aquellos residuos que no se pueden triturar.

- **Trituración y compactación “in situ”:**

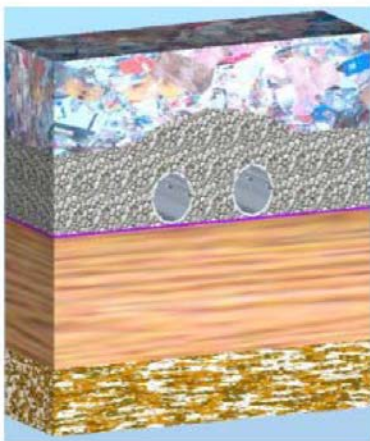
La técnica se basa en la compactación con desgarramiento simultáneo de los residuos con la utilización de máquinas especiales. El procedimiento que se lleva a cabo es extender los residuos en capas finas para permitir la degradación aerobia, lo que obliga a mantener una superficie de vertido muy extensa.

La densidad de compactación alcanzada permite que los camiones recolectores puedan circular con facilidad por el propio vertedero, simplificando la operación de extendido. Por otra parte, es difícil el aventamiento de papeles y plásticos y no se producen olores, no siendo entonces necesario disponer de material de recubrimiento diario.

25. Describa las principales características a tener en cuenta en un depósito de seguridad para residuos peligrosos.

Un depósito de seguridad es una instalación especialmente diseñada para el confinamiento de residuos peligrosos en estado sólido durante tiempo indefinido con las máximas garantías de estabilidad y aislamiento del residuo y el correcto tratamiento de los lixiviados posibles. Está formado por un sistema de barreras (barrera geológica natural de más de 5 metros + barrera geológica artificial + revestimiento artificial impermeable + contenedor).

Vertedero para Residuos Peligrosos



Masa de residuos

Capa de drenaje > 0,5m para la recogida de lixiviados

Revestimiento artificial impermeable

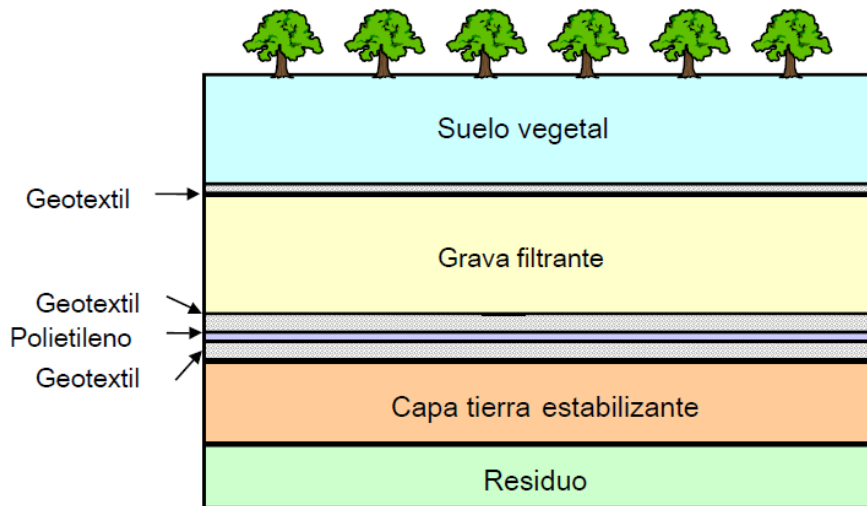
Barrera geológica artificial > 0,5m

Barrera geológica natural >5m

Permeabilidad del terreno $k < 10^{-9}$ m/s

Es necesario llevar a cabo un exhaustivo control y selección de los residuos admisibles. Cada instalación admite una serie de residuos tóxicos, según su diseño, esto es necesario para garantizar la estabilidad y confinamiento.

Cuando se clausura, el cierre incluye un sistema de drenaje para evitar contacto del agua con los residuos. La cubierta de cierre incluye diferentes capas: una capa de tierra estabilizante, varias capas de geotextil y polietileno, una capa de grava filtrante, otra capa de geotextil y una cubierta final de suelo vegetal. Es necesario continuar con el control y mantenimiento tras su clausura.



La publicación (incluyendo la divulgación en redes sociales o servicios de compartición en Internet) puede vulnerar la normativa de protección de datos y/o la propiedad intelectual y generar responsabilidad de la persona infractora.

**ANEXO 5: MATERIAL DOCENTE DE
AUTOEVALUACIÓN RELATIVO AL
BLOQUE DE GESTIÓN AMBIENTAL**

TEMA 9: GESTIÓN AMBIENTAL

Sistema de gestión medioambiental.

1. Indique las etapas del ciclo de mejora continua en el que está basado la norma ISO14001 y describa brevemente los principales objetivos de cada una de ellas.

La Norma ISO 14001 establece un marco para implementar y mantener un sistema de gestión ambiental (SGA) efectivo en una organización. Este sistema se basa en el ciclo de mejora continua, también conocido como Planificar-Hacer-Verificar-Actuar (PHVA) o Plan-Do-Check-Act (PDCA). Las etapas del ciclo PDCA aplicadas a la Norma ISO 14001 son:

1. Planificar (Plan): El objetivo de esta etapa es establecer los objetivos y procesos necesarios para conseguir resultados de acuerdo con la política medioambiental de la organización.
2. Hacer (Do): El objetivo de esta etapa es la implementación de los procesos y recursos necesarios para alcanzar los objetivos y metas ambientales.
3. Verificar (Check): El objetivo de esta etapa es realizar el seguimiento y la medición de los procesos respecto a la política medioambiental, los objetivos, las metas y los requisitos legales y otros requisitos, e informar sobre los resultados.
4. Actuar: El objetivo de esta etapa tomar acciones para mejorar continuamente el desempeño del sistema de gestión medioambiental.

Una vez que se completa la etapa "Actuar", el ciclo vuelve a la etapa "Planificar" para comenzar el proceso nuevamente, incorporando aprendizajes y ajustes basados en la experiencia y los resultados obtenidos.

2. Ponga algún ejemplo de beneficios ambientales, económicos y de liderazgo empresarial que tiene la implantación de la norma ISO 14001 en una organización.

Ejemplos de beneficios alcanzados con la implantación de la ISO14001 en una organización:

Ambientales

- Reduce los impactos ambientales de la actividad.
- Optimiza la gestión de recursos y residuos, tanto desde un punto de vista cuantitativo como cualitativo, incidiendo en una menor peligrosidad de las materias primas y productos.
- Gestiona los riesgos asociados a situaciones accidentales.
- Facilita la tramitación de autorizaciones administrativas.

Económicos y comerciales

- Obtiene una ventaja competitiva en licitaciones públicas y privadas.
- Ahorra recursos.
- Reduce los costes de la gestión de residuos.
- Elimina las barreras a la exportación.
- Optimiza las primas de seguros.
- Reduce el riesgo de litigios y sanciones.
- Posibilita el acceso a subvenciones.
- Facilita el acceso a líneas de financiación preferentes.
- Reduce los riesgos laborales.
- Promueve la motivación del personal.
- Potencia la innovación y la productividad.

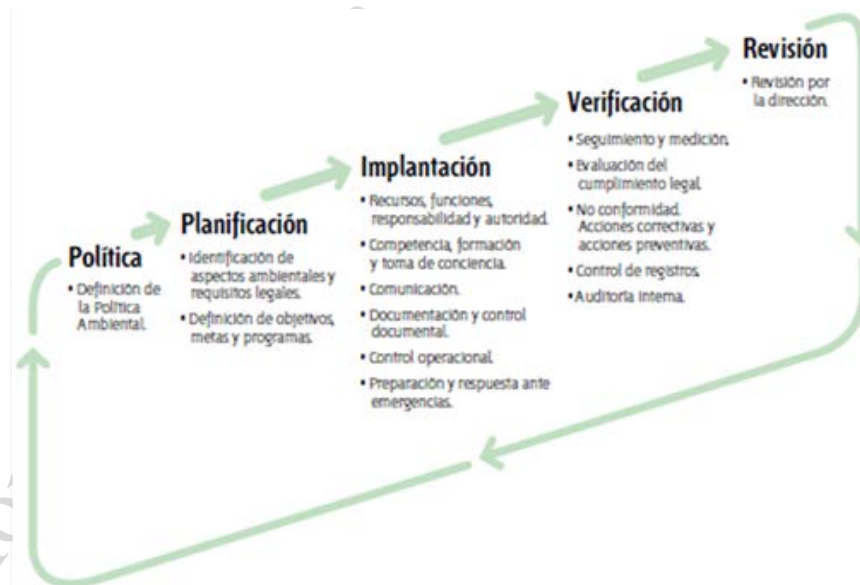
De liderazgo e imagen empresarial

- Permite diferenciarse positivamente de la competencia.
- Favorece la comunicación y la comprensión de todas las partes interesadas.
- Refuerza la imagen ante clientes y consumidores.
- Posiciona a la organización como socialmente responsable.

3. Enumere las principales fases para la implantación de la norma ISO 14001 en una organización.

1. Definición de la **política ambiental**.
2. **Planificación**, incluye la identificación de aspectos ambientales y requisitos legales, así como la definición de objetivos, metas y programas.
3. **Implantación**, teniendo en cuenta recursos, funciones, responsabilidad y autoridad; competencia, formación y toma de conciencia; comunicación; documentación y control documental; control operacional; y preparación y respuesta ante emergencias.

4. **Verificación**, mediante el seguimiento y medición; la evaluación del cumplimiento legal; la no conformidad y las acciones correctivas y preventivas; el control de registros; y la auditoría interna.
5. **Revisión** por parte de la dirección.



Evaluación del impacto ambiental. Predicción y valoración de impactos

4. Defina impacto ambiental y evaluación del impacto ambiental (EIA)

- **Impacto ambiental:** Alteración que se produce en el Medio Ambiente y que puede afectar a la salud y bienestar del hombre si se lleva a cabo un proyecto, respecto a la situación que se produciría si no se ejecuta.
- **Evaluación del impacto ambiental:** Proceso de análisis encaminado a predecir los impactos ambientales que un proyecto o actividad produciría, con el fin de establecer su aceptabilidad, modificación o rechazo por parte de la Administración Pública. Su principal objetivo es determinar la importancia de los impactos ambientales con un criterio objetivo con el fin de evitarlos o reducirlos a niveles aceptables.

5. Indique dos métodos para la predicción y valoración de impactos ambientales y sus principales características

1. Matriz de Leopold:

La matriz de Leopold es una herramienta utilizada en la evaluación de impacto ambiental (EIA). Se utiliza para identificar y analizar los posibles impactos ambientales de un proyecto o acción específica. Tiene una estructura de tabla o matriz, con categorías y subcategorías organizadas en filas y columnas.

- Las filas representan las características del medio ambiente susceptible de alterarse, como el suelo, el agua, la flora, la fauna y la calidad del aire.
- Las columnas representan las fases del proyecto o las acciones que pueden causar impactos en el medio ambiente.

La matriz permite asignar valores numéricos (de 1 a 10) a la **magnitud** (alteración provocada en el factor ambiental) y a la **importancia** (peso relativo del factor ambiental) de los impactos potenciales en cada elemento ambiental.

2. Sistema Batelle:

Es un método cuantitativo desarrollado para la evaluación de impactos ambientales. Su objetivo es la evaluación sistemática de los impactos de un proyecto mediante el empleo de indicadores homogéneos. Para la aplicación de este método se definen indicadores de impacto con **78 parámetros ambientales**, que indican la representatividad del impacto ambiental derivada de las acciones consideradas.

Los 78 parámetros se ordenan en **18 componentes ambientales** agrupados en **4 categorías ambientales**.

6. Indique las principales ventajas e inconvenientes de la matriz de Leopold y del sistema Batelle para la predicción y valoración de impactos ambientales

Matriz de Leopold

Ventajas

- ✓ Son necesarios pocos medios para aplicarla.
- ✓ Útil para identificar efectos, contemplando en forma bastante completa los factores físicos, biológicos y socioeconómicos involucrados.
- ✓ Fácil utilización.

Inconvenientes

- ✓ Se presta a que un mismo impacto se contabilice dos veces.
- ✓ No es selectivo.
- ✓ No es sistemático.
- ✓ Está dirigida a proyectos con un gran impacto físico-biológico (explotaciones mineras).
- ✓ Calificación de impactos subjetiva.

Sistema Batelle

Ventajas

- ✓ Evaluación sistemática de los impactos ambientales, con la utilización de indicadores homogéneos.
- ✓ Evaluaciones cuantificables de los proyectos.
- ✓ Permite comparar diferentes alternativas.
- ✓ No es subjetivo.

Inconvenientes

- ✓ Requiere evaluadores experimentados que conozcan mucho el proyecto.
- ✓ Requiere funciones de transformación para todos los factores ambientales que se consideren.
- ✓ Requiere información muy completa del ambiente afectable.
- ✓ No muestra de forma clara la relación causa-efecto.

**ANEXO 6: MATERIAL DOCENTE DE
AUTOEVALUACIÓN RELATIVO AL
BLOQUE DE GESTIÓN DE SUELOS**

TEMA 8: SUELOS

Propiedades del suelo

1. ¿Cuáles son las propiedades más importantes de un suelo para su aprovechamiento?

- **Textura:** es la composición elemental del suelo, definida por las proporciones relativas de arena, limo y arcilla.
- **Estructura:** es el modo de agrupación de todas las partículas de suelo (minerales y orgánicas) y los espacios que quedan entre ellas.
- **Porosidad:** es la relación entre volumen de huecos y el volumen total del suelo.
- **Permeabilidad:** es la capacidad de un material para que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna, (cm/h).
- **Propiedades hidráulicas:** aquellas que inciden en el movimiento o retención de agua en el suelo:
 - **Capacidad de campo:** volumen límite de agua gravitacional alojada en los macroporos (>0.06 mm) a partir del cual ésta empezaría a drenar. Por debajo de éste, el agua se aloja en los microporos y su movimiento es por capilaridad.
 - **Punto de marchitez permanente:** contenido de humedad del suelo en que las plantas no pueden extraer el agua y permanecen marchitas.
 - **Agua disponible:** Es la diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente.
- **Propiedades químicas:**
 - **La fracción reactiva del suelo:** es la parte de la fase sólida del suelo que tiene la capacidad de interactuar con los contaminantes que alcancen el mismo. Formada por la materia orgánica con cierto grado de evolución (humus), minerales de arcilla, óxidos e hidróxidos
 - **Poder de amortiguación:** es la capacidad natural de depuración de la contaminación. Está regulada por las reacciones de: complejación, adsorción y desorción, precipitación y disolución, oxidorreducción, ácido-base, procesos metabólicos que depende de la textura, estructura, porosidad, capacidad de intercambio iónico, pH, potencial redox y microorganismos.

2. Describa brevemente los principales agentes contaminantes del suelo.

- **Metales pesados:** Fe, Mn, Zn, B, Co, As, V, Cu, Ni, Mo, Cd, Hg y Pb.
- **Lluvias ácidas:** Depositiones húmedas o secas de la atmosfera constituidas principalmente por SO₂ y NO_x.
- **Salinización:** Acumulación en el suelo de sales más solubles que el yeso (2,6 g/L en agua pura a 25°C).
- **Fitosanitarios:** Plaguicidas, herbicidas, fungicidas y fertilizantes
- **Explotaciones mineras:** Destrucción de suelos naturales y creación de nuevos suelos (antrosoles).
- **Contaminantes orgánicos:** Hidrocarburos aromáticos, hidrocarburos policíclicos aromáticos, hidrocarburos alifáticos, hidrocarburos policlorados, isocianatos, cianuros orgánicos, carbonilos de metales. Distribución y comportamiento influenciados por las características del suelo, propiedades específicas de cada compuesto y factores ambientales

Tipos de técnicas

3. Indique los tres tipos de técnicas de tratamientos de suelos según su objetivo.

- **TÉCNICAS DE CONTENCIÓN:** aíslan el contaminante del suelo sin actuar sobre él. Reducen su migración. Son de bajo coste.
- **TÉCNICAS DE CONFINAMIENTO:** reducen la movilidad de los contaminantes en el suelo para evitar su migración actuando directamente sobre las condiciones físico-químicas bajo las que se encuentran los contaminantes.
- **TÉCNICAS DE DESCONTAMINACIÓN:** dirigidas a disminuir la concentración de los contaminantes en el suelo o a degradarlos/eliminarlos.

4. Clasifique todas las técnicas de tratamientos de suelos.

Tipo de Tratamiento	Tratamiento	Aplicación	
Descontaminación	Físico-Químico	Extracción	In situ
		Lavado	Ex situ
		Flushing	In situ
		Electrocinética	In situ
		Adición de enmiendas	In situ
		Barreras permeables activas	In situ
		Inyección de aire comprimido	In situ
		Pozos de recirculación	In situ
		Oxidación ultravioleta	Ex situ
		Biológico	
Biotransformación de metales	In situ		
Fitorrecuperación	In situ		
Bioventing	In situ		
Landfarming	Ex situ		
Biopilas	Ex situ		
Compostaje	Ex situ		
Lodos biológicos	Ex situ		
Térmico		Incineración	Ex situ
		Desorción térmica	Ex situ
Mixto		Extracción multifase	In situ
		Atenuación natural	In situ
Contención		Barreras verticales	In situ
		Barreras horizontales	In situ
		Barreras de suelo seco	In situ
		Sellado profundo	In situ
		Barreras hidráulicas	In situ
Confinamiento		Estabilización físico-química	Ex situ
		Inyección de solidificantes	In situ
		Vitrificación	Ex situ-In situ

ANEXO 7: MATERIAL DOCENTE DE AUTOEVALUACIÓN DESARROLLADO CON LA HERRAMIENTA WOOCCLAP

BLOQUE AGUAS

Número de participantes : 42



1. Los principales parámetros físicos son:

16 respuestas correctas
de 35 encuestados



sólidos, color, olor, sabor, temperatura, turbidez, gases disueltos y conductividad.



16 votos

sólidos, dureza, conductividad, gases disueltos, temperatura, turbidez, color, olor, sabor



5 votos

oxígeno disuelto, temperatura, metales pesados, turbidez, conductividad, sólidos



5 votos

sólidos, temperatura, conductividad, turbidez, color, olor, sabor



9 votos



2. Une cada parámetro con la técnica de medida más adecuada

31 encuestados





3. Indica el parámetro que no sea físico

35 respuestas correctas
de 38 encuestados

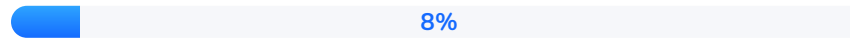


DQO



35 votos

solidos



3 votos

turbidez



0 votos



4. ¿Qué grupo de microorganismos se utiliza comúnmente como indicador de contaminación fecal en el agua?

26 respuestas correctas
de 38 encuestados



Patógenos



7 votos

Coliformes totales



26 votos

Virus



0 votos

Protozoos



5 votos



5. DBO significa...

38 encuestados

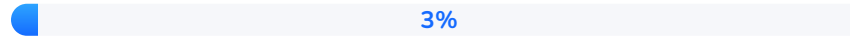
DBO significa Demanda **Biológica** (28 ) de Oxígeno, y es un indicador de la cantidad de oxígeno necesario para descomponer materia **orgánica biodegradable** (1 ) en el agua filtrada.



6. Los contaminantes emergentes son difíciles de regular y monitorear debido a:

37 respuestas correctas
de 38 encuestados

Su alta biodegradabilidad



1 voto

Su falta de toxicidad



0 votos

La falta de protocolos para la cuantificación de los mismos en concentraciones traza, el coste de los análisis y la falta de estándares establecidos



37 votos

Su rápida eliminación del medio ambiente



0 votos



7. ¿Cuál de los siguientes procesos se utiliza para eliminar los sólidos suspendidos en el agua?

24 respuestas correctas
de 37 encuestados

Decantación



12 votos

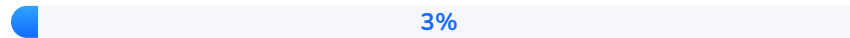


Filtración



24 votos

Oxidación



1 voto

Desinfección



0 votos



7. ¿Cuál de los siguientes métodos se utiliza para eliminar los compuestos orgánicos biodegradables solubles de un agua residual?

27 respuestas correctas
de 38 encuestados



Biodegradación



27 votos

Coagulación



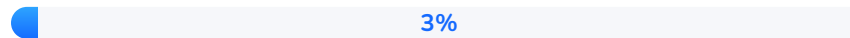
5 votos

Neutralización



5 votos

Desalinización



1 voto



8. ¿Cuál de los siguientes procesos se utiliza para eliminar los microorganismos patógenos en el agua potable?

18 respuestas correctas
de 37 encuestados



Desinfección



49%

18 votos

Filtración



0%

0 votos

Decantación



11%

4 votos

Oxidación avanzada



41%

15 votos



9. ¿Cuál de los siguientes métodos se utiliza habitualmente para eliminar metales pesados en un agua residual?

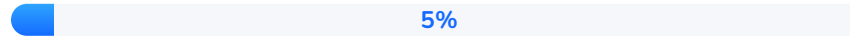
38 respuestas correctas
de 40 encuestados

Tratamiento biológico



0 votos

Desalinización por membranas



2 votos

Coagulación



0 votos



Precipitación y posterior separación de los sólidos



38 votos



10. ¿Cuál de los siguientes procesos se utiliza para eliminar los nitrógeno en el efluente de una depuradora?

36 respuestas correctas
de 39 encuestados



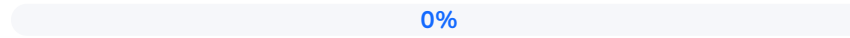
Desnitrificación



92%

36 votos

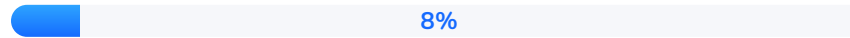
Decantación



0%

0 votos

Oxidación



8%

3 votos

Filtración



0%

0 votos



11. ¿Cuál de los siguientes métodos se utiliza para eliminar los olores en el agua residual?

32 respuestas correctas
de 36 encuestados

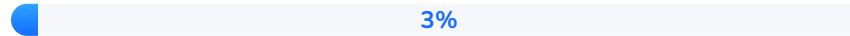


Ozonización o adsorción con carbón activo



32 votos

Desalinización



1 voto

Absorción



2 votos

Coagulación



1 voto



12. ¿Cuál de los siguientes procesos se utiliza para eliminar los sólidos disueltos en el agua?

26 respuestas correctas
de 35 encuestados

Decantación



4 votos

Tratamiento con membranas de micro y ultrafiltración



5 votos



Tratamiento con membranas de nanofiltración y ósmosis inversa



26 votos

Desinfección



0 votos



13. ¿Cuál de los siguientes métodos se utiliza para eliminar los patógenos en el agua residual?

20 respuestas correctas
de 22 encuestados



Desinfección



20 votos

Neutralización



0 votos

Coagulación



2 votos

Filtración

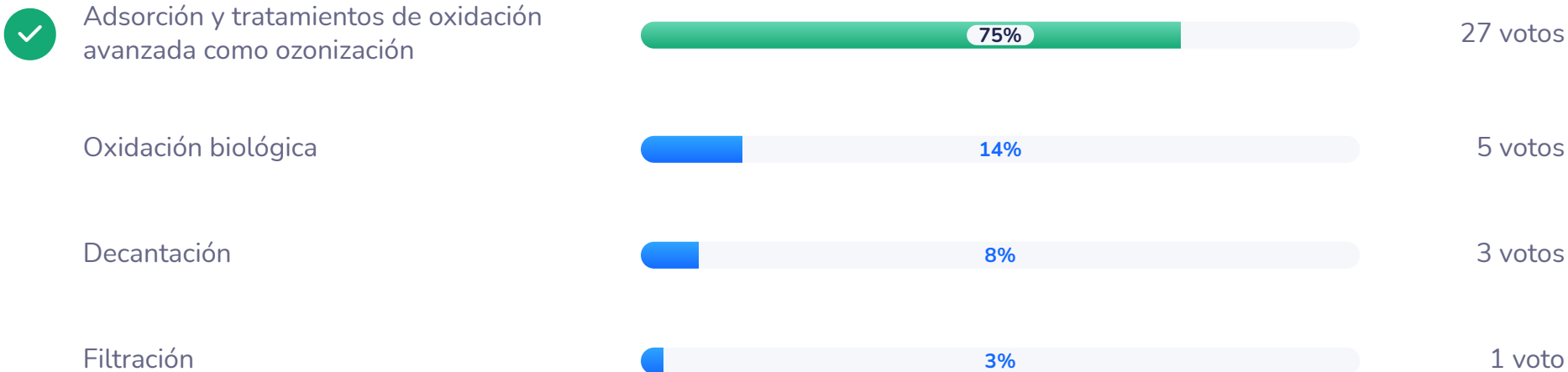


0 votos



14. ¿Cuál de los siguientes procesos se utiliza para eliminar los compuestos orgánicos recalcitrantes en el agua residual?

27 respuestas correctas
de 36 encuestados

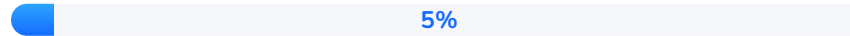




15. ¿Cuál de los siguientes métodos se utiliza para eliminar sales en el agua?

34 respuestas correctas
de 37 encuestados

Neutralización



2 votos

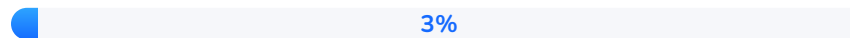


Desalinización por membranas



34 votos

Biodegradación



1 voto

Coagulación



0 votos



17. ¿Cuándo se emplea el término de digestión anaerobia?

32 respuestas correctas
de 37 encuestados



En caso de tratar corrientes con elevado contenido en sólidos en suspensión como en el caso de lodos



32 votos

En caso de tratar corrientes de agua con sólidos en suspensión



5 votos



18. En caso de un caudal de entrada elevado: ¿Que método de separación de sólidos en suspensión sería apropiado?

18 respuestas correctas
de 35 encuestados



Sedimentación, método más económico



51%

18 votos

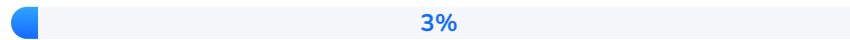
Filtración, debido a la alta flotación de los sólidos



46%

16 votos

Destilación, por los distintos puntos de ebullición



3%

1 voto

T5_Mix1

Número de participantes : 34

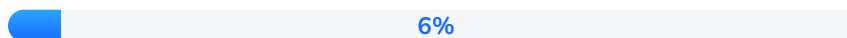


1. La contaminación atmosférica se refiere a la alteración....

10 respuestas correctas
de 17 encuestados



en el contenido de materia del aire con respecto a su estado natural que implican riesgo, daño o molestia grave para las personas.



1 voto

en el contenido de energía del aire con respecto a su estado natural que implican riesgo, daño o molestia grave para las personas, ecosistemas o bienes materiales.



2 votos



en el contenido de materia y/o energía del aire con respecto a su estado natural que implican riesgo, daño o molestia grave para las personas, ecosistemas o bienes materiales.



10 votos

la alteración en el contenido de materia y/o energía del aire con respecto a su estado natural que implican riesgo, daño o molestia grave para las personas o ecosistemas.



4 votos

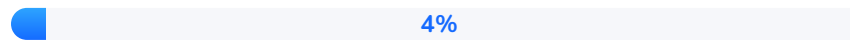


2. Los contaminantes atmosféricos se clasifican....

23 respuestas correctas
de 25 encuestados



según su estado físico y según su composición.



1 voto

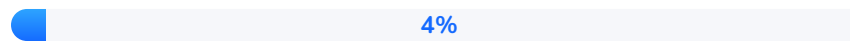


según su estado físico, según su composición y según su evolución en la atmósfera.



23 votos

según la capa de la atmósfera donde se acumulan.



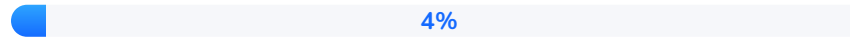
1 voto



3. Los contaminantes según su estado físico se clasifican en...

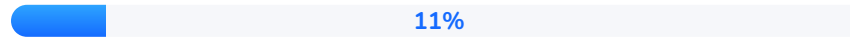
23 respuestas correctas
de 27 encuestados

primarios y secundarios.



1 voto

ácidos, básicos, silicatos y polvo de sílice, humos metálicos, hidrocarburos y compuestos orgánicos de actividad específica.



3 votos

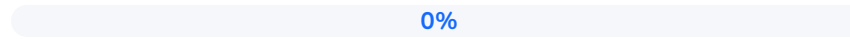


homogéneos y heterogéneos.



23 votos

globales o locales.



0 votos



4. ¿Qué es la concentración de emisión?

7 respuestas correctas
de 21 encuestados



La cantidad de contaminantes liberados por una fuente emisora.



7 votos

La masa de contaminante emitido por unidad de tiempo.



0 votos

La masa de contaminante emitido por unidad de bien o servicio producido.



2 votos

La cantidad de contaminantes presentes en el aire ambiental en un lugar específico.



12 votos



5. ¿Cuáles son los efectos globales y locales en contaminación atmosférica?

15 respuestas correctas
de 22 encuestados



Efectos globales: calentamiento global, lluvia ácida y agotamiento de la capa de ozono. Efectos locales: smog fotoquímico



15 votos

Efectos globales: calentamiento global, smog fotoquímico y lluvia ácida. Efectos locales: agotamiento de la capa de ozono



0 votos

Efectos globales: smog fotoquímico, lluvia ácida y agotamiento de la capa de ozono. Efectos locales: calentamiento global



2 votos

Efectos globales: smog fotoquímico, calentamiento global y agotamiento de la capa de ozono. Efectos locales: lluvia ácida



5 votos



6. ¿Cuáles son los principales gases de efecto invernadero (GEI)?

21 respuestas correctas
de 27 encuestados



El único GEI es el CO₂.

0%

0 votos



Los principales GEI son: CO₂, el CH₄, el N₂O y compuestos fluorados (CFCs, HFCs, PFCs y SF₆).

78%

21 votos

Los principales GEI son: CO₂, el CH₄, el N₂O y otros compuestos nitrogenados (NO_x, NH₃, N₂O₅).

15%

4 votos

Los GEI son: CO₂, CH₄, el N₂O y compuestos clorados (Cl₂, HCl, CFCs).

7%

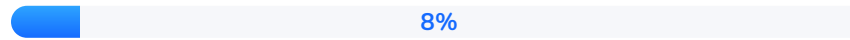
2 votos



7. ¿Cuáles son los principales sectores que más producen gases de efecto invernadero?

21 respuestas correctas
de 25 encuestados

Actividades energéticas para la producción de electricidad, calor y otras formas de energía, las actividades mineras, la deforestación y cambio en el uso del suelo, y el sector de la construcción.



2 votos



Actividades energéticas para la producción de electricidad, calor y otras formas de energía, las actividades agrícolas, la deforestación y cambio en el uso del suelo, los procesos industriales y el consumo de energía asociado, y el sector del transporte.



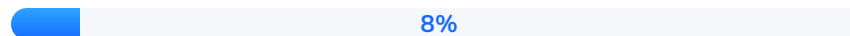
21 votos

Actividades turísticas, la deforestación y cambio en el uso del suelo, y el sector de la salud.



0 votos

Actividades energéticas para la producción de electricidad, calor y otras formas de energía, las actividades pesqueras y el sector de la educación.



2 votos



8. ¿Cuáles son los principales acuerdos internacionales para luchar contra los efectos del cambio climático?

2 respuestas correctas
de 25 encuestados



Protocolo de Kioto, el Acuerdo de Paris y el Tratado de Schengen.

0%

0 votos

Protocolo de Kyoto y el Protocolo de Montreal.

0%

0 votos



Protocolo de Kyoto y el Acuerdo de Paris.

8%

2 votos

Protocolo de Kioto, el Acuerdo de Paris y el Protocolo de Montreal.

92%

23 votos

1.
2.
3.




9. Ordene los principales gases de efecto invernadero según la cantidad emitida a la atmósfera (de mayor a menor):

15 encuestados

Combinaciones mas frecuentes:

7 	2 	1 
1 Dióxido de carbono ✓	3 Metano ✗	3 Metano ✗
3 Metano ✓	1 Dióxido de carbono ✗	1 Dióxido de carbono ✗
4 Óxido nitroso ✓	2 Compuestos fluorados (CFCs, HFCs, PFCs y SF6) ✗	4 Óxido nitroso ✓
2 Compuestos fluorados (CFCs, HFCs, PFCs y SF6) ✓	4 Óxido nitroso ✗	2 Compuestos fluorados (CFCs, HFCs, PFCs y SF6) ✓

Respuesta correcta

1 Dióxido de carbono	10 
3 Metano	8 
4 Óxido nitroso	9 



10. Señale la respuesta correcta:

3 respuestas correctas
de 16 encuestados



El protocolo de Kioto adoptó como compromiso reducir las emisiones de GEIs en un promedio de 5,2% con respecto a los niveles de 1990, en el primer período de vigencia (2008-2012)



19%

3 votos

El protocolo de Kioto adoptó como compromiso reducir las emisiones de GEIs en un promedio de 18% con respecto a los niveles de 1990, en el primer período de vigencia (2008-2012)



38%

6 votos

El protocolo de Kioto adoptó como compromiso reducir las emisiones de GEIs en un promedio de 5,2% con respecto a los niveles de 1990, en el



19%

3 votos

segundo período de vigencia (2013-2020)

El protocolo de Kioto adoptó como compromiso reducir las emisiones de GEIs en un promedio de 20% con respecto a los niveles de 1990, en el primer período de vigencia (2008-2012)



4 votos

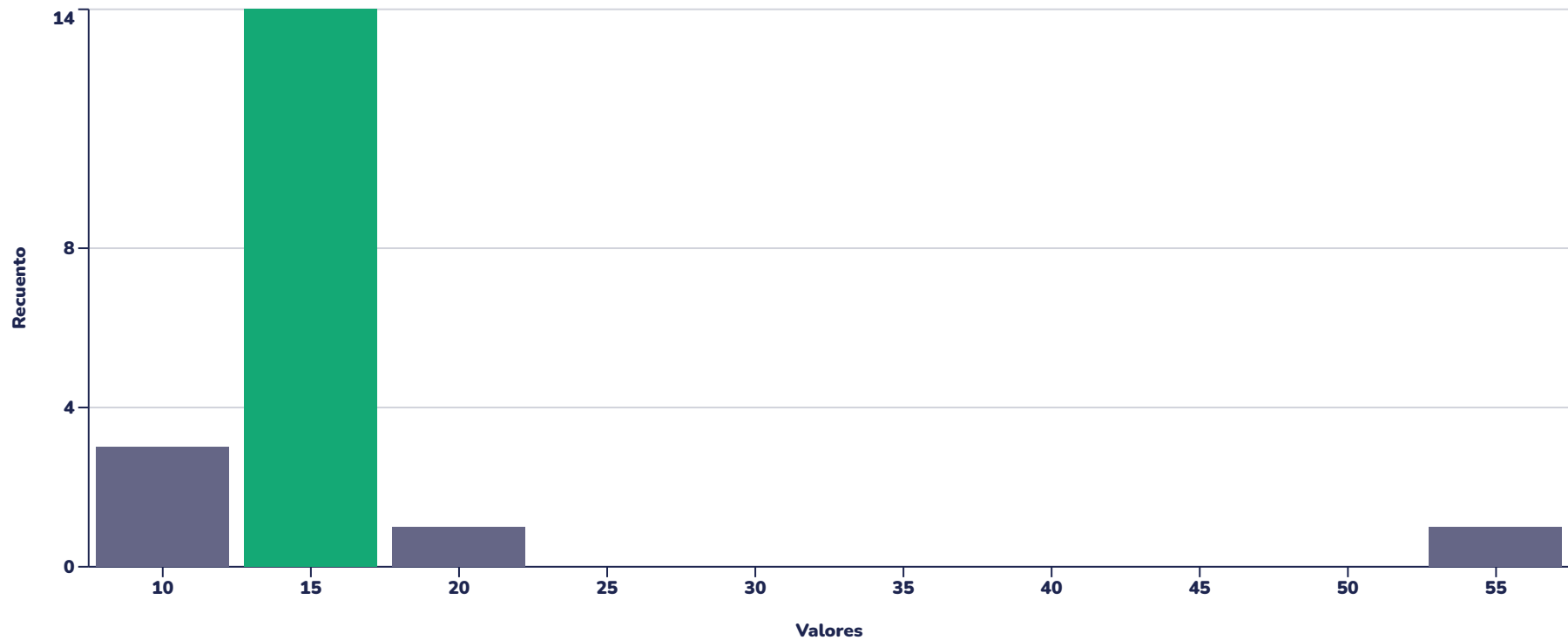
9 4

- 11.** Indique cual fue el porcentaje de compromiso global adoptado en la reducción de las emisiones de GEI durante el segundo periodo de Kioto (2013-2020), con respecto a los niveles de 1990.

14 respuestas correctas

de 19 encuestados





14
Mínimo

19.42
Media

55
Máximo

18
Media

8.53
Desviación
estándar

72.77
Varianza

Respuesta correcta

18



12. El objetivo del Acuerdo de París pretende mantener un aumento de la temperatura media mundial inferior a:

26 respuestas correctas
de 31 encuestados

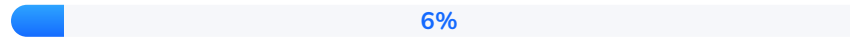


2°C



26 votos

1°C



2 votos

3.5°C



3 votos

4.5°C



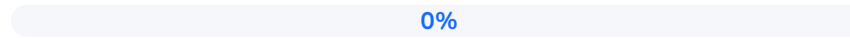
0 votos



13. ¿Cuáles son los principales contaminantes atmosféricos que provocan la destrucción de la capa de ozono?

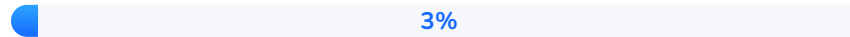
19 respuestas correctas
de 31 encuestados

Partículas en suspensión (PM10 y PM2.5), dióxido de azufre (SO₂) y monóxido de carbono (CO).



0 votos

Vapor de agua (H₂O), ozono (O₃) y dióxido de azufre (SO₂).



1 voto



Sustancias químicas que contienen átomos de halógenos (como el cloro y bromo) presentes en compuestos tales como CFCs o gases halones, óxido nítrico (NO) y el radical hidroxilo (OH·).



19 votos

Dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxidos de nitrógeno (NO_x).



11 votos



14. ¿Qué son los HCFCs? (1 sola palabra)

28 encuestados

Hidroclorofluorocarbonos (1)



15. ¿A qué se debe la caída del uso de compuestos clorofluorocarbonados (CFCs)?

9 respuestas correctas
de 28 encuestados

El descubrimiento de alternativas más eficientes que los CFCs.



19 votos

La falta de disponibilidad de CFCs en el mercado.



0 votos



La implementación exitosa del Protocolo de Montreal.



9 votos

El aumento en el costo de los CFCs.



0 votos



16. ¿En qué capa de la atmósfera hay una mayor cantidad de ozono?

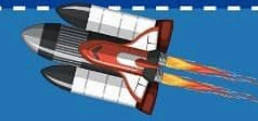
8 encuestados

Capas de la Atmósfera

Exósfera



Termósfera



Mesósfera



Estratosfera



Tropósfera

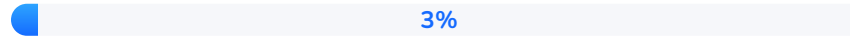




18. ¿Cuál es el principal acuerdo internacional para luchar contra el agotamiento de la capa de ozono?

33 respuestas correctas
de 34 encuestados

El Protocolo de Kioto.



1 voto

La Convención de Viena.



0 votos



El Protocolo de Montreal.



33 votos

El Acuerdo de París.



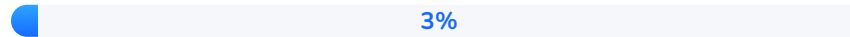
0 votos



19. ¿Qué es la lluvia ácida?

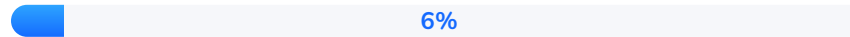
30 respuestas correctas
de 33 encuestados

Es una forma de precipitación que contiene niveles anormalmente altos de partículas sólidas.



1 voto

Es una forma de precipitación que contiene niveles anormalmente altos de dióxido de azufre.



2 votos

Es una forma de precipitación que contiene niveles anormalmente altos de agua.



0 votos



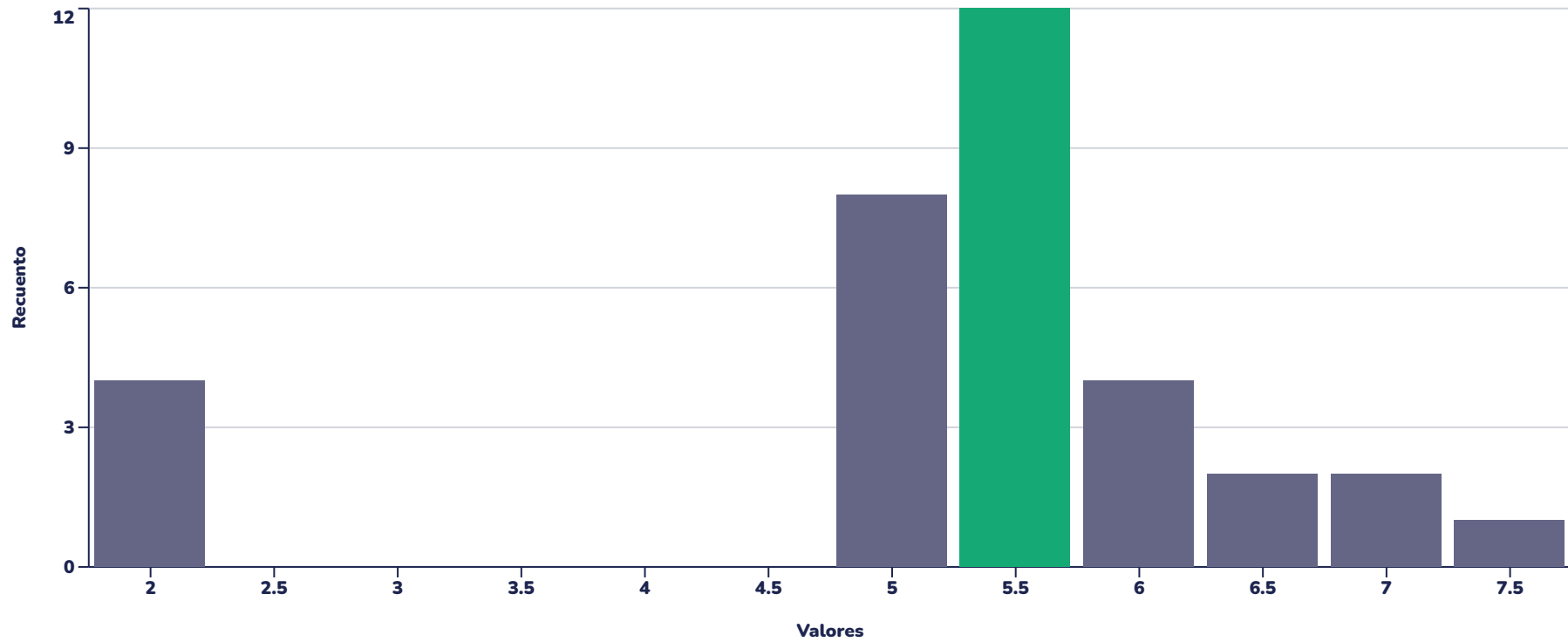
Es una forma de precipitación que contiene niveles anormalmente altos de ácidos, como el ácido sulfúrico y el ácido nítrico.



30 votos

20. El pH de la lluvia natural es... (Tolerancia de 0.5)

17 respuestas correctas
de 33 encuestados



2

Mínimo

5.27

Media

7.5

Máximo

5.6

Media

1.36

Desviación
estándar

1.84

Varianza

Respuesta correcta

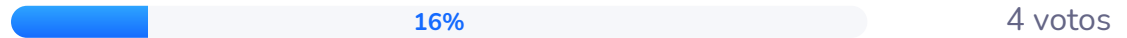
Entre 5.1 y 6.1



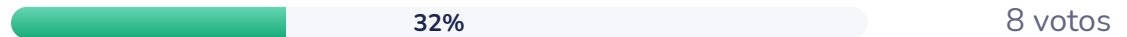
21. Selecciona la respuesta INCORRECTA en relación a la lluvia ácida

8 respuestas correctas
de 25 encuestados

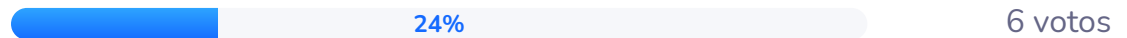
Las sustancias contaminantes emitidas a la atmósfera por las actividades humanas reaccionan con otros componentes atmosféricos, siendo transportados los productos ácidos resultantes hacia otros lugares.



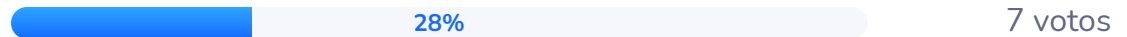
La lluvia ácida puede tener efectos adversos en los cultivos agrícolas al mejorar la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas produciendo un sobrecrecimiento.



La lluvia ácida es un problema de contaminación que no respeta fronteras nacionales, debido al transporte de largo alcance al que están sometidos los contaminantes atmosféricos.



Los precursores del ácido nítrico y sulfúrico son los óxidos de nitrógeno y azufre, producidos fundamentalmente en los procesos de combustión.

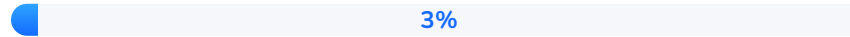




22. Qué medida correctora de la Lluvia ácida es incorrecta

29 respuestas correctas
de 31 encuestados

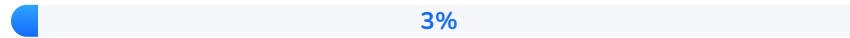
Reducir al máximo el contenido de azufre en los combustibles



3%

1 voto

Impulsar el uso de gas natural en diversas industrias



3%

1 voto



Añadir un compuesto ácido en lagos y ríos para neutralizar el pH



94%

29 votos

Instalar equipos de medida y control en las industrias



0%

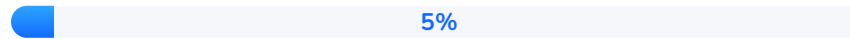
0 votos



23. ¿Qué es el smog fotoquímico?

13 respuestas correctas
de 19 encuestados

Es la aparición de compuestos oxidantes en la atmósfera, consecuencia de la reacción de SO_x, HC y O₂ en presencia de radiación solar.



1 voto

Es la aparición de compuestos reductores en la atmósfera, consecuencia de la reacción de CO₂, H₂O y O₂ en presencia de radiación solar.



0 votos



Es la aparición de compuestos oxidantes en la atmósfera, consecuencia de la reacción de NO_x, HC y O₂ en presencia de radiación solar.



13 votos

Es la aparición de compuestos reductores en la atmósfera, consecuencia de la reacción de NO_x, CO y O₂ en presencia de radiación solar.



5 votos



24. En relación al Smog Fotoquímico, asocia los siguientes contaminantes indicando si son contaminantes primarios o secundarios

5 encuestados

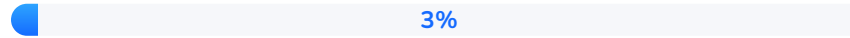
Ozono	1	0 respuestas correcta	C	Contaminante secundario
Nitrato de peroxiacetilo	2	2 respuestas correctas	D	Contaminante secundario
COVs	3	0 respuestas correcta	A	Contaminante primario
Pb	4	2 respuestas correctas	B	No es un contaminante del Smog Fotoquímico



25. En relación al ozono troposférico, seleccione la respuesta correcta:

24 respuestas correctas
de 32 encuestados

Es un contaminante primario



1 voto

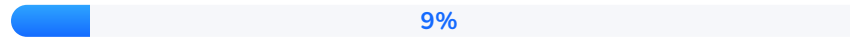


Se considera muy peligroso a concentraciones mayores a 0,1 ppm durante 1 hora



24 votos

Es un gas incoloro y de gran poder reductor



3 votos

En dosis altas puede lesionar el sistema digestivo y excretor

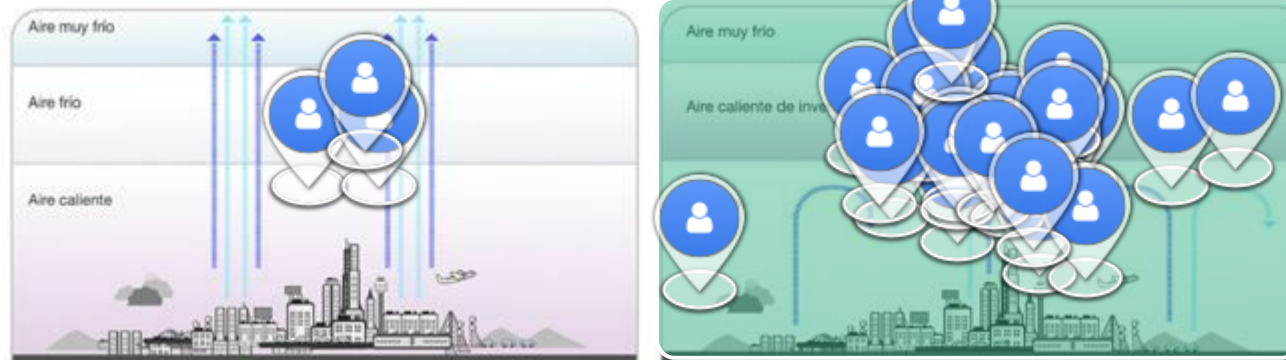


4 votos



26. ¿En cuál de las siguientes ciudades se produce inversión térmica?

27 encuestados



27. ¿Cuál de las siguientes reacciones se producen cuando el ozono generado evoluciona en presencia de COVs?

28 encuestados



ANEXO 8: CUESTIONARIO DE VALORACIÓN
SOBRE EL MATERIAL DOCENTE
DESARROLLADO EN LA ASIGNATURA TMA
DEL GRADO EN QUÍMICA

ENCUESTA DE VALORACIÓN

MATERIAL DOCENTE DESARROLLADO EN EL PROYECTO DE INNOVACIÓN DOCENTE N°76

CURSO 2023-2024

Este es un cuestionario de valoración sobre el material docente desarrollado en el Proyecto de Innovación Docente N° 76, que consiste en varios documentos que contienen preguntas y respuestas sobre el contenido de la asignatura, permitiendo la autoevaluación de los estudiantes de TMA del Grado de Químicas. Es importante responder a todas las preguntas planteadas, ya que esto ayudará a detectar y solucionar los puntos débiles de la metodología.

Agradecemos sinceramente tu colaboración. Tu aporte es fundamental para el continuo desarrollo y mejora de la metodología educativa. ¡Gracias por tu tiempo!

Antes de empezar el cuestionario nos gustaría saber, ¿Es la primera vez que cursas esta asignatura?

- Sí
- No

En caso negativo, ¿Cuántas veces la has cursado considerando este curso?.....

Responde indicando el grado de acuerdo con las siguientes afirmaciones en una escala del 1 (nada de acuerdo) al 5 (totalmente de acuerdo).

Aspectos técnicos	1	2	3	4	5
1. El material estaba accesible a través del campus virtual de la asignatura					
2. He podido descargar y utilizar todos los documentos sin problemas técnicos					
3. Los documentos estaban bien ordenados de acuerdo con el temario de la asignatura					
Contenido	1	2	3	4	5
4. He utilizado todo el material docente proporcionado de este Proyecto Docente					
5. El material docente proporcionado es claro y comprensible					
6. Este material es mucho mejor de lo que me esperaba					
7. La cantidad de preguntas y respuestas proporcionadas es adecuada para cubrir los aspectos clave de la asignatura					
8. Este material me ha permitido aclarar conceptos, facilitándome el aprendizaje					
9. Este material ha contribuido positivamente en el estudio de la asignatura					
10. Este material me ha permitido autoevaluarme y saber cómo llevo la asignatura					
11. Creo que sería útil elaborar un material similar para otras asignaturas					
12. El material docente proporcionado me ha servido para preparar el examen y responder a las preguntas propuestas					
13. En términos generales, estoy satisfecho con este material docente desarrollado					

Algún comentario o sugerencia de mejora:

.....

.....

**ANEXO 9: RESULTADOS DEL CUESTIONARIO
DE VALORACIÓN SOBRE EL MATERIAL
DOCENTE DESARROLLADO EN LA
ASIGNATURA TMA DEL GRADO EN QUÍMICA**

RESULTADOS ENCUESTA DE VALORACIÓN

MATERIAL DOCENTE DESARROLLADO EN EL PROYECTO DE INNOVACIÓN DOCENTE Nº76

CURSO 2023-2024

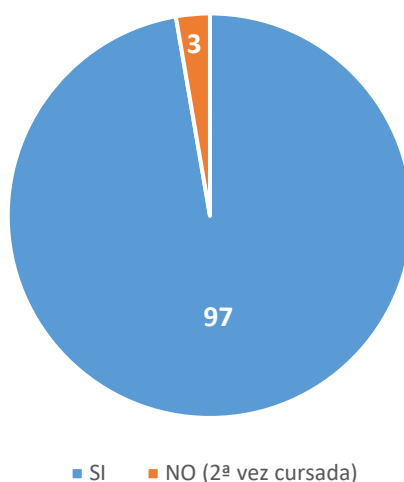
Fecha de la encuesta: 18 de enero de 2024

Asignatura: Tecnología del Medio Ambiente

Grado: Química

Número de encuestas realizadas: 37

¿Es la primera vez que cursas esta asignatura?

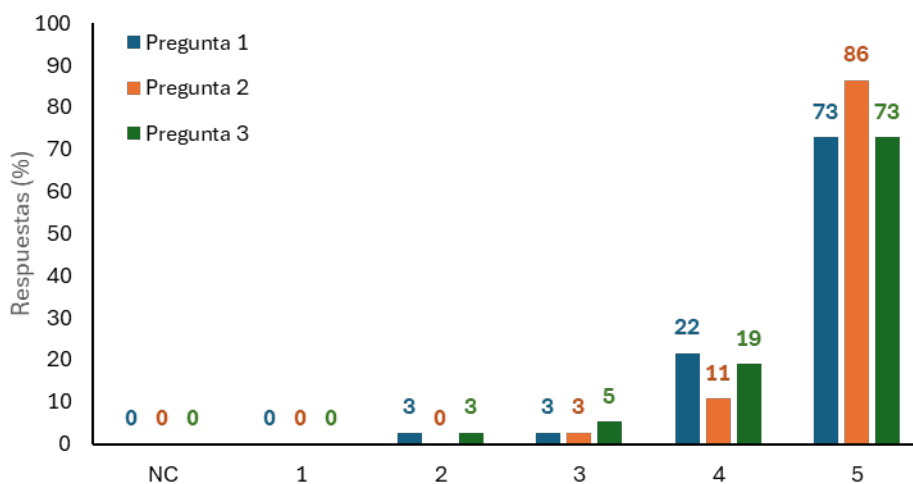


ASPECTOS TÉCNICOS:

Pregunta 1: El material estaba accesible a través del campus virtual de la asignatura.

Pregunta 2: He podido descargar y utilizar todos los documentos sin problemas técnicos.

Pregunta 3: Los documentos estaban bien ordenados de acuerdo con el temario de la asignatura.

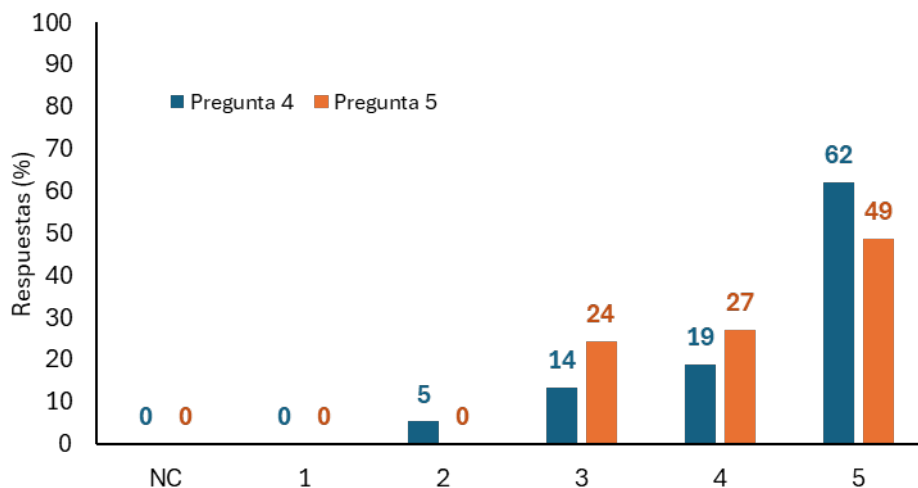


Respuestas: Escala del 1 (nada de acuerdo) al 5 (totalmente de acuerdo). NC: No contesta

CONTENIDO:

Pregunta 4: He utilizado todo el material docente proporcionado de este Proyecto Docente.

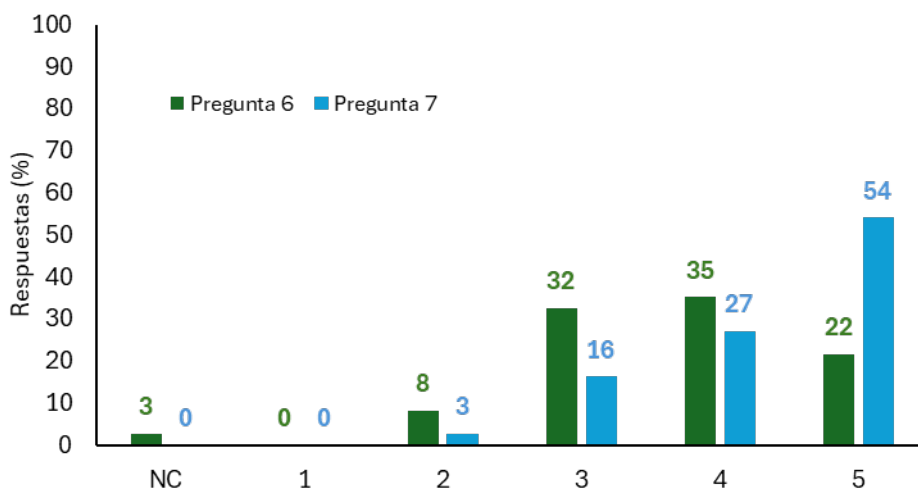
Pregunta 5: El material docente proporcionado es claro y comprensible.



Respuestas: Escala del 1 (nada de acuerdo) al 5 (totalmente de acuerdo). NC: No contesta

Pregunta 6: Este material es mucho mejor de lo que me esperaba.

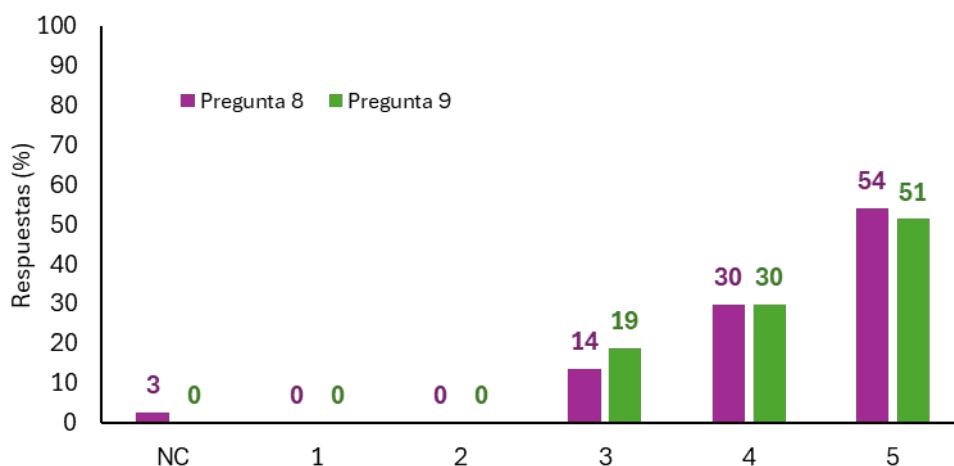
Pregunta 7: La cantidad de preguntas y respuestas proporcionadas es adecuada para cubrir los aspectos clave de la asignatura.



Respuestas: Escala del 1 (nada de acuerdo) al 5 (totalmente de acuerdo). NC: No contesta

Pregunta 8: Este material me ha permitido aclarar conceptos, facilitándome el aprendizaje.

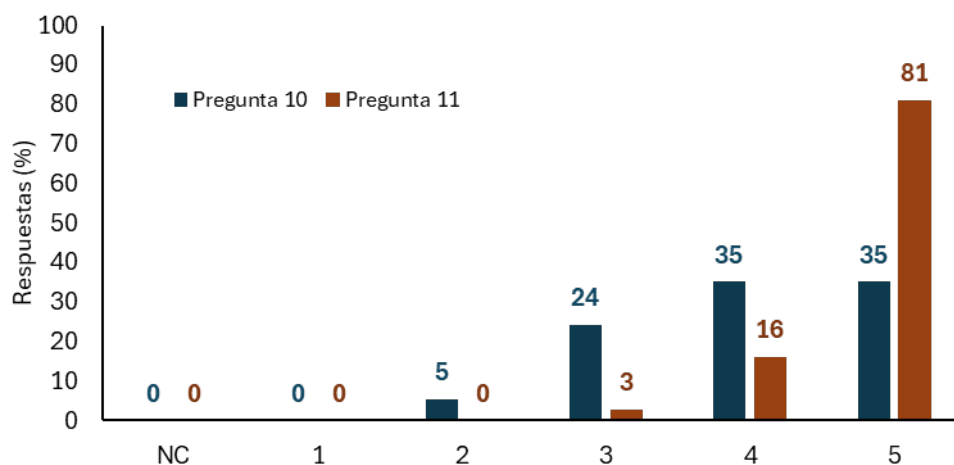
Pregunta 9: Este material ha contribuido positivamente en el estudio de la asignatura.



Respuestas: Escala del 1 (nada de acuerdo) al 5 (totalmente de acuerdo). NC: No contesta

Pregunta 10: Este material me ha permitido autoevaluarme y saber cómo llevo la asignatura.

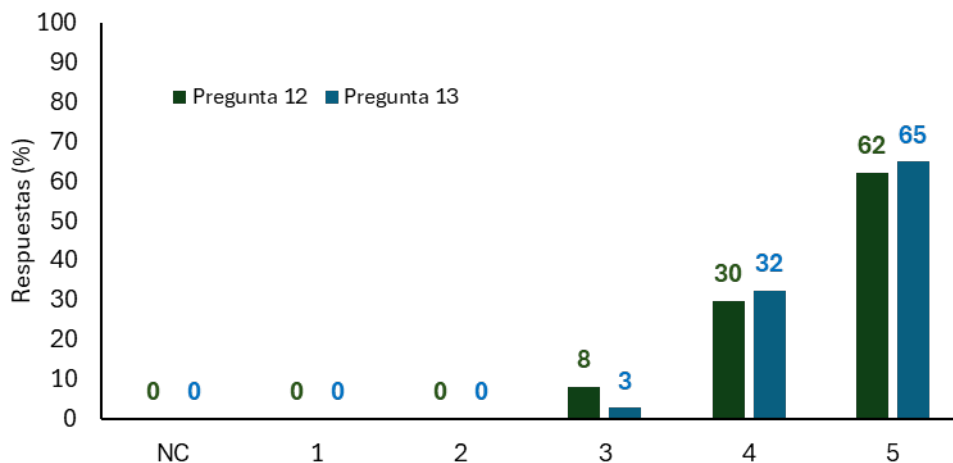
Pregunta 11: Creo que sería útil elaborar un material similar para otras asignaturas.



Respuestas: Escala del 1 (nada de acuerdo) al 5 (totalmente de acuerdo). NC: No contesta

Pregunta 12: El material docente proporcionado me ha servido para preparar el examen y responder a las preguntas propuestas.

Pregunta 13: En términos generales, estoy satisfecho con este material docente desarrollado.



Respuestas: Escala del 1 (nada de acuerdo) al 5 (totalmente de acuerdo). NC: No contesta

Pregunta 14: Algún comentario o sugerencia de mejora:

- Realizar un parcial eliminatorio antes de la convocatoria de enero y que haya alguna parte tipo test.
- Propondría la existencia de parciales. Es una asignatura muy densa, con un gran contenido en los temas impartidos y, en mi caso, me ha resultado difícil y pesado estudiar la cantidad del temario. Si se puede liberar de una parte de la asignatura antes del examen de enero creo que se disfrutaría más de la asignatura y sería mucho más fácil de estudiar.
- Muy contento con la asignatura.
- Algún parcial para que sea más asequible aprobar y poder profundizar en el estudio tanto como se quiera y muchas veces no se puede por falta de tiempo.
- Muy satisfecha con el material del proyecto de innovación porque me ha ayudado a enfocar la asignatura y aclarar conceptos.
- Es demasiada información para memorizar y en el examen se preguntan cosas muy específicas.
- Intentar no dividir los temas en varios PDF's, ya que dificultan la comprensión.
- Reducir el temario de aguas o realizar preguntas más generales sobre esa parte ya que hay que tener un conocimiento muy específico sobre cada una de las partes de este bloque y es demasiado extenso.
- A mi parecer excesivas preguntas, 18 páginas de preguntar para un tema, en total con 80 hojas solo de preguntas es excesivo. En cuanto al examen, no tiene sentido que preguntas que ocupaban una hoja entera valgan un solo punto, básicamente mal puntuación.
- Los videos de tratamientos de lodos, yo no los podría abrir.
- Había un tema, creo recordar de aguas, que las diapositivas estaban en otro orden y algunas no estaban en comparación con las de clase y liaba un poco.

ANEXO 10: CUESTIONARIO DE VALORACIÓN
SOBRE EL MATERIAL DOCENTE
DESARROLLADO EN LA ASIGNATURA TMA
DEL GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA

ENCUESTA DE VALORACIÓN

MATERIAL DOCENTE DESARROLLADO EN EL PROYECTO DE INNOVACIÓN DOCENTE N°76

CURSO 2023-2024

Este es un cuestionario de valoración sobre el material docente desarrollado en el Proyecto de Innovación Docente N° 76, que consiste en varios documentos que contienen preguntas y respuestas sobre el contenido de la asignatura, permitiendo la autoevaluación de los estudiantes de TMA del Grado de Ingeniería Química. Es importante responder a todas las preguntas planteadas, ya que esto ayudará a detectar y solucionar los puntos débiles de la metodología.

Agradecemos sinceramente tu colaboración. Tu aporte es fundamental para el continuo desarrollo y mejora de la metodología educativa. ¡Gracias por tu tiempo!

Antes de empezar el cuestionario nos gustaría saber, ¿Es la primera vez que cursas esta asignatura?

- Sí
- No

En caso negativo, ¿Cuántas veces la has cursado considerando este curso?.....

Responde indicando el grado de acuerdo con las siguientes afirmaciones en una escala del **1** (nada de acuerdo) al **5** (totalmente de acuerdo).

Aspectos técnicos	1	2	3	4	5
1. El material estaba accesible a través del campus virtual de la asignatura					
2. He podido descargar y utilizar todos los documentos sin problemas técnicos					
3. Los documentos estaban bien ordenados de acuerdo con el temario de la asignatura					
Contenido	1	2	3	4	5
4. He utilizado todo el material docente proporcionado de este Proyecto Docente					
5. El material docente proporcionado es claro y comprensible					
6. Este material es mucho mejor de lo que me esperaba					
7. La cantidad de preguntas y respuestas proporcionadas es adecuada para cubrir los aspectos clave de la asignatura					
8. Este material me ha permitido aclarar conceptos, facilitándome el aprendizaje					
9. Este material ha contribuido positivamente en el estudio de la asignatura					
10. Este material me ha permitido autoevaluarme y saber cómo llevo la asignatura					
11. Creo que sería útil elaborar un material similar para otras asignaturas					
12. El material docente proporcionado me ha servido para preparar el examen y responder a las preguntas propuestas					
13. En términos generales, estoy satisfecho con este material docente desarrollado					

Algún comentario o sugerencia de mejora:

.....

.....

ANEXO 11: RESULTADOS DEL
CUESTIONARIO DE VALORACIÓN SOBRE EL
MATERIAL DOCENTE DESARROLLADO EN LA
ASIGNATURA TMA DEL GRADO EN
INGENIERÍA QUÍMICA

RESULTADOS ENCUESTA DE VALORACIÓN

MATERIAL DOCENTE DESARROLLADO EN EL PROYECTO DE INNOVACIÓN DOCENTE N°76

CURSO 2023-2024

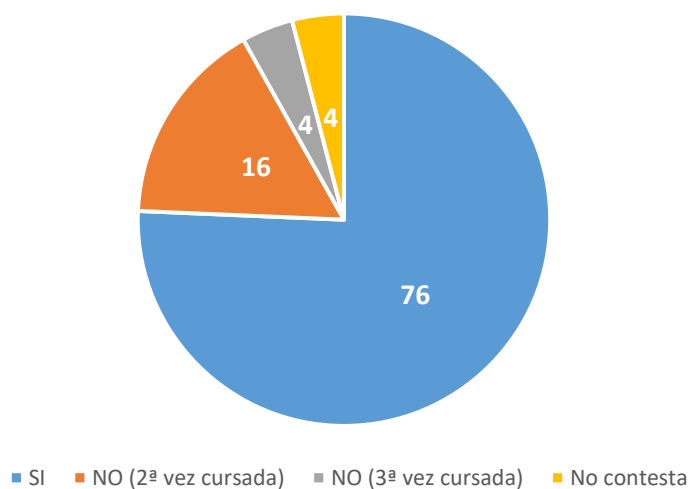
Fecha de la encuesta: 7 de junio de 2024

Asignatura: Tecnología del Medio Ambiente

Grado: Ingeniería Química

Número de encuestas realizadas: 74

¿Es la primera vez que cursas esta asignatura?

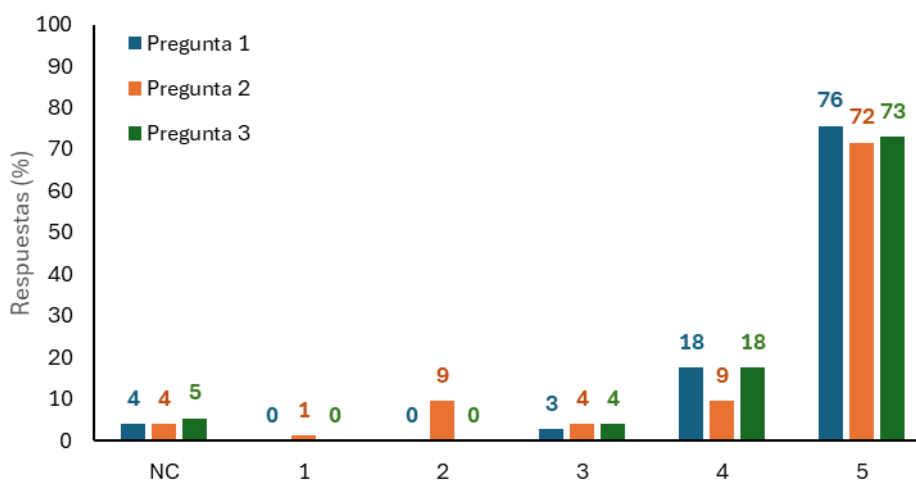


ASPECTOS TÉCNICOS:

Pregunta 1: El material estaba accesible a través del campus virtual de la asignatura.

Pregunta 2: He podido descargar y utilizar todos los documentos sin problemas técnicos.

Pregunta 3: Los documentos estaban bien ordenados de acuerdo con el temario de la asignatura.

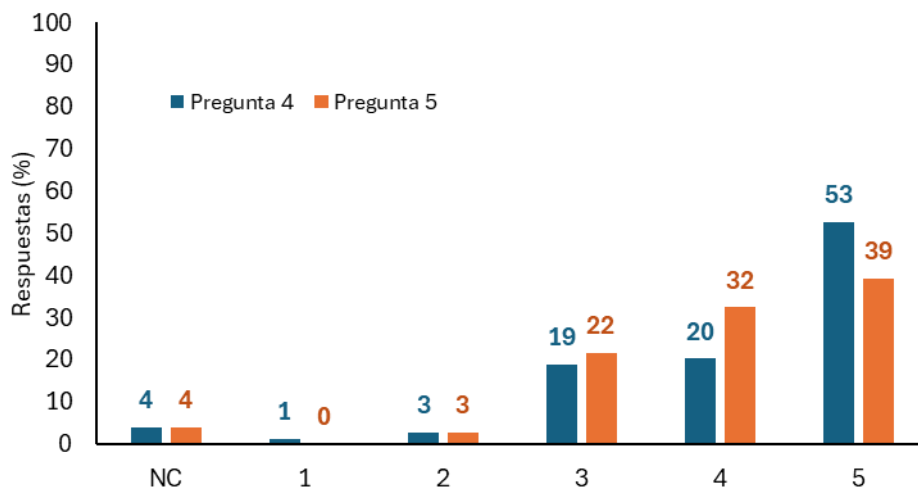


Respuestas: Escala del 1 (nada de acuerdo) al 5 (totalmente de acuerdo). NC: No contesta

CONTENIDO:

Pregunta 4: He utilizado todo el material docente proporcionado de este Proyecto Docente.

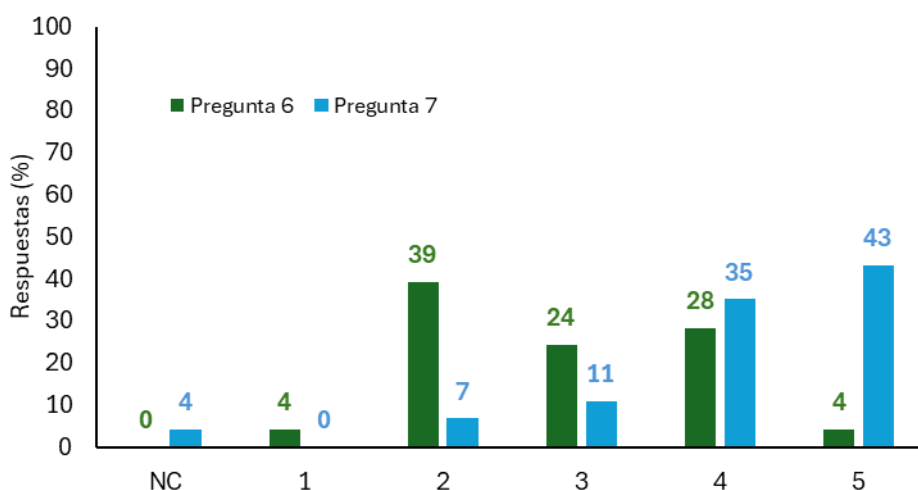
Pregunta 5: El material docente proporcionado es claro y comprensible.



Respuestas: Escala del 1 (nada de acuerdo) al 5 (totalmente de acuerdo). NC: No contesta

Pregunta 6: Este material es mucho mejor de lo que me esperaba.

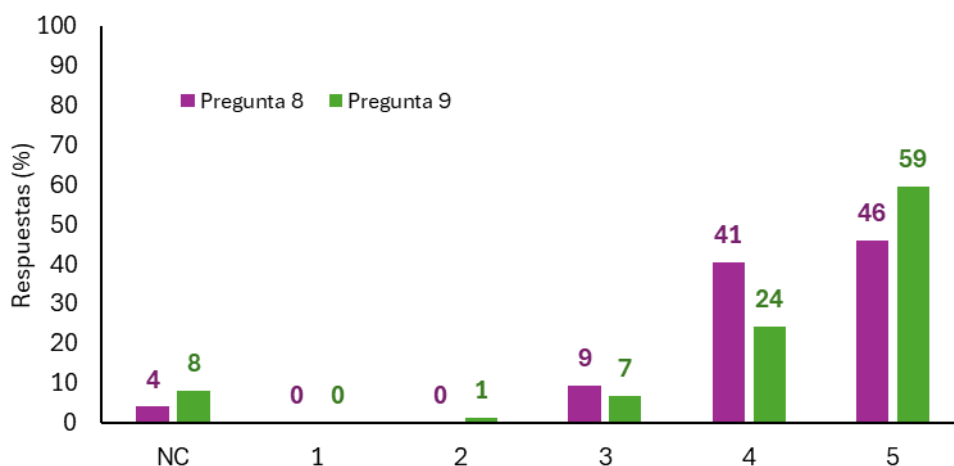
Pregunta 7: La cantidad de preguntas y respuestas proporcionadas es adecuada para cubrir los aspectos clave de la asignatura.



Respuestas: Escala del 1 (nada de acuerdo) al 5 (totalmente de acuerdo). NC: No contesta

Pregunta 8: Este material me ha permitido aclarar conceptos, facilitándome el aprendizaje.

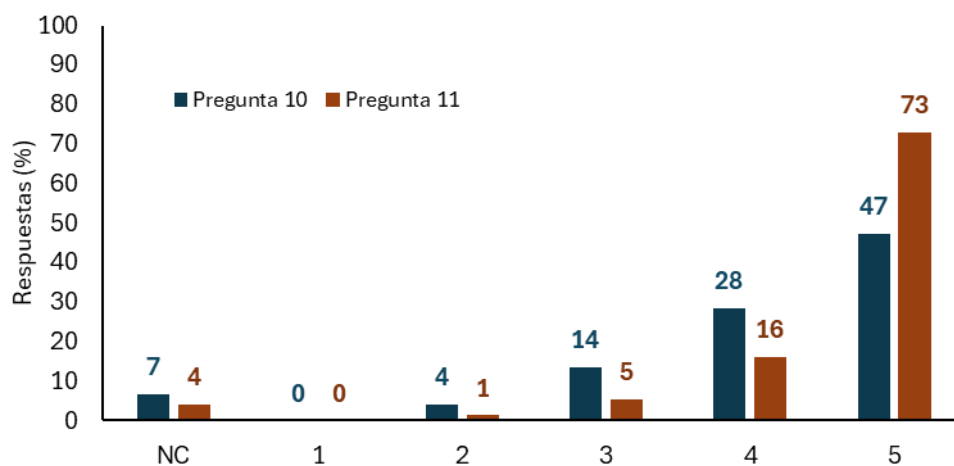
Pregunta 9: Este material ha contribuido positivamente en el estudio de la asignatura.



Respuestas: Escala del 1 (nada de acuerdo) al 5 (totalmente de acuerdo). NC: No contesta

Pregunta 10: Este material me ha permitido autoevaluarme y saber cómo llevo la asignatura.

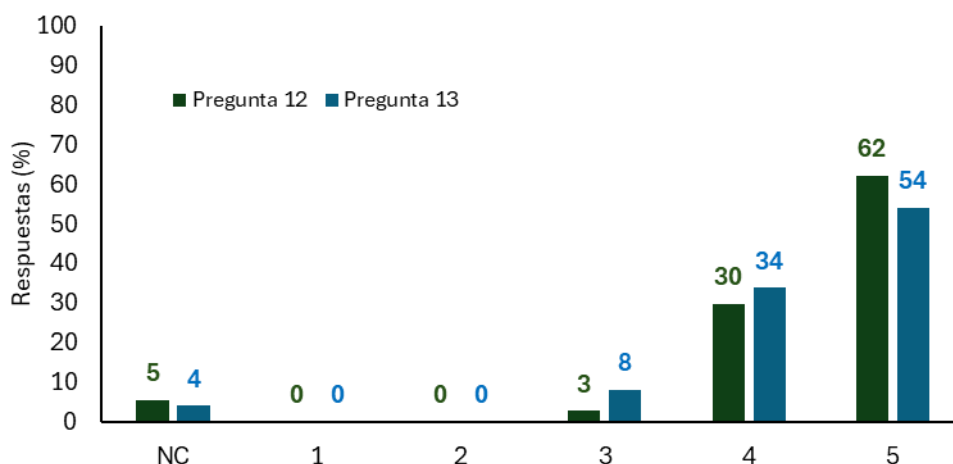
Pregunta 11: Creo que sería útil elaborar un material similar para otras asignaturas.



Respuestas: Escala del 1 (nada de acuerdo) al 5 (totalmente de acuerdo). NC: No contesta

Pregunta 12: El material docente proporcionado me ha servido para preparar el examen y responder a las preguntas propuestas.

Pregunta 13: En términos generales, estoy satisfecho con este material docente desarrollado.

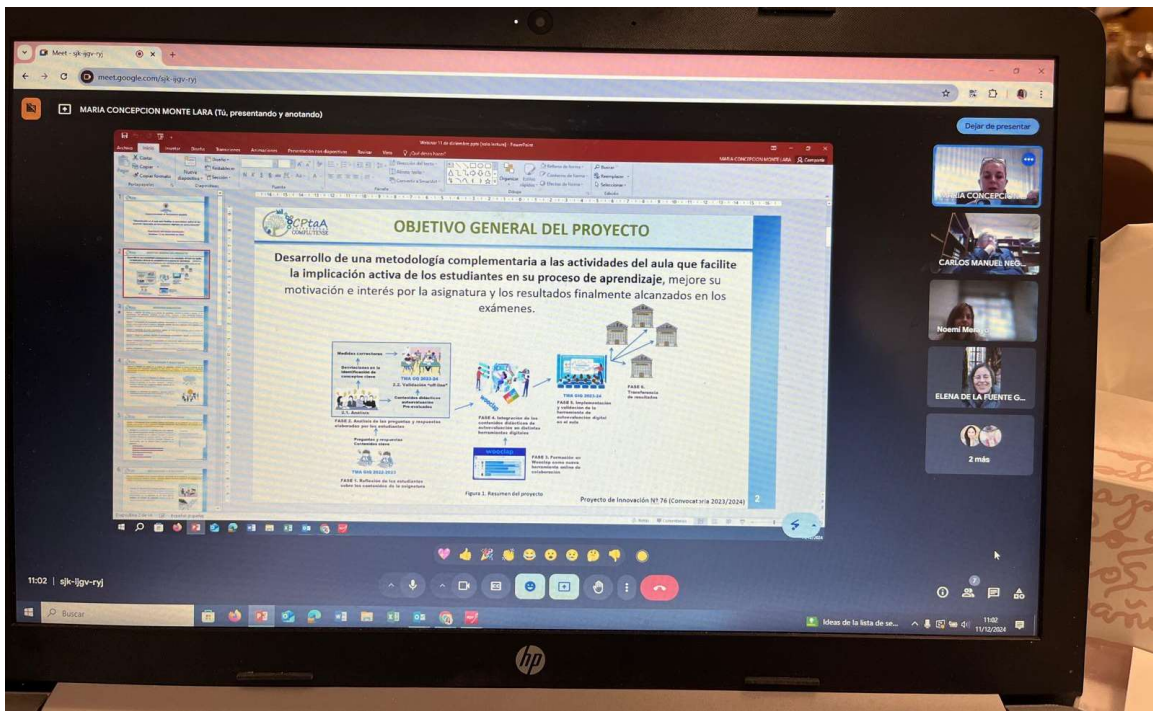
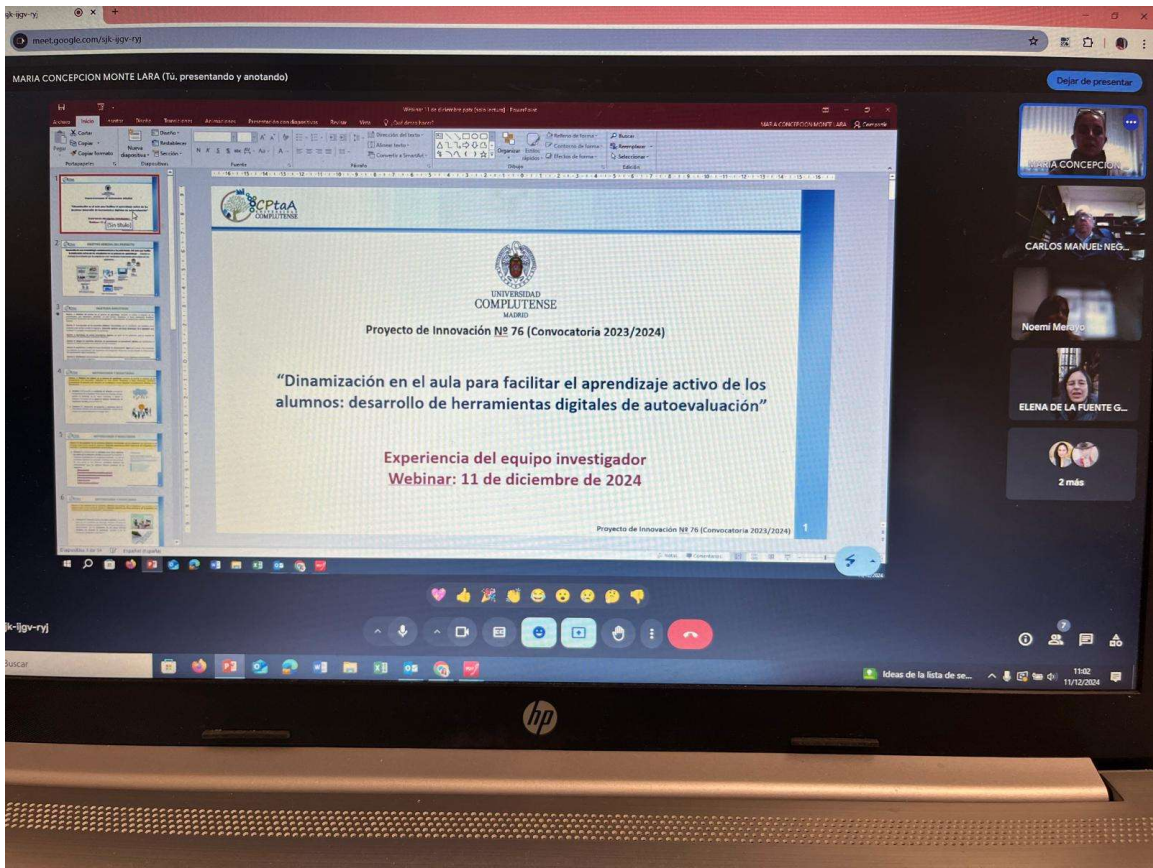


Respuestas: Escala del 1 (nada de acuerdo) al 5 (totalmente de acuerdo). NC: No contesta

Pregunta 14: Algún comentario o sugerencia de mejora:

- Comentar las preguntas de cada bloque antes de pasar con las siguientes.
- La redacción de algunas preguntas podría ser más clara y concisa.
- Ninguna. La asignatura es muy interesante, está muy bien impartida y el material es muy claro. Como mucho pediría una actualización de los temas, pero eso es cosa de la programación de la carrera.
- Creo que el empleo de “Kahoots” en clase ayuda a autoevaluarme y aprender, teniendo un impacto positivo.
- En el material docente pondría el texto de no plagio en otro lugar o en un color más claro, ya que estando debajo del texto dificultaba la lectura de este.
- Se podría adelantar el examen para que sea uno de los primeros y no llegar así tan cansados (último examen).
- No dejaba imprimir los apuntes porque estaba protegido.
- Sería bueno incluir una corrección de los diagramas de bloques de las depuradoras.
- No me suspendan 😊
- Dar un poco más de tiempo en el examen o acortar alguna pregunta.
- Deberían realizarse correcciones de las tutorías y colgar los dibujos y diagramas.
- Desproteger el PDF, algunas preguntas muy enrevesadas, su comprensión es difícil. Muchas preguntas son similares, pero añadiendo alguna cosa nueva lo que hace el tema lioso.
- Me ha servido mucho el material proporcionado con las preguntas. Ha sido una manera de recoger ampliamente la información de la asignatura.
- Aprecio mucho el interés y las ganas que poneis a la asignatura. En cuanto a los powerpoints, si pusieseis algo un poco más completo ayudaría a seguir la clase mejor. Muchas gracias!
- Visitar depuradoras. Podría haber más crítica a los modelos de producción.

ANEXO 12: WEBINAR PARA LA TRANSFERENCIA DE RESULTADOS DEL PROYECTO



Enviados - anabalea@ucm.es x Universidad Complutense de M Meet - Webinar del Proyecto x

https://meet.google.com/sjk-ijgv-ry?authuser=0

Login Failed GRUPO DE INVESTI... Zotero | Download Factors influencing... Mechanism of pape... PEP - Aneca SciFinder - Research... Error de privacidad Todos los marcadores

MARIA CONCEPCION MONTE LARA (Presentando y anotando)

Con el apoyo de: **NNOVA-Docencia**
Universidad de Castilla-La Mancha

"Dinamización en el aula para facilitar el aprendizaje activo de los alumnos: desarrollo de herramientas digitales de autoevaluación"

Proyecto de Innovación N° 76
Convocatoria 2023/2024

Proyecto de Innovación N° 76 [Convocatoria 2023/2024] 14

11:01 | Webinar del Proyecto de Innovación Docente_11 d... 6°C Mayorm. nublado 1101 Carga completa (100%)

**ANEXO 13: PRESENTACIÓN FINAL DE LOS
RESULTADOS DEL PROYECTO DE IINOVACIÓN
DOCENTE nº76 (CONVOCATORIA 2023/2024)
REALIZADA EN EL WEBINAR DEL 11 DE
DICIEMBRE DE 2024**



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

Proyecto de Innovación Nº 76 (Convocatoria 2023/2024)

“Dinamización en el aula para facilitar el aprendizaje activo de los alumnos: desarrollo de herramientas digitales de autoevaluación”

Experiencia del equipo investigador
Webinar: 11 de diciembre de 2024

Proyecto de Innovación Nº 76 (Convocatoria 2023/2024)

1

1

OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO

Desarrollo de una metodología complementaria a las actividades del aula que facilite la implicación activa de los estudiantes en su proceso de aprendizaje, mejore su motivación e interés por la asignatura y los resultados finalmente alcanzados en los exámenes.

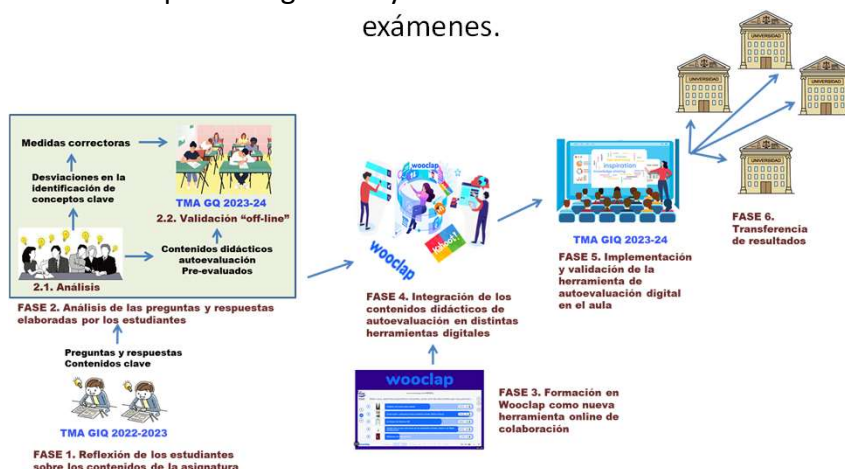


Figura 1. Resumen del proyecto

Proyecto de Innovación Nº 76 (Convocatoria 2023/2024)

2

2



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Objetivo 1. Reflexión del alumno en su proceso de aprendizaje mediante la revisión y selección de los conocimientos más importantes abordados en cada lección. Comprobar si los/as alumnos/as identifican correctamente los aspectos más relevantes de la asignatura y si han adquirido las competencias definidas en la Guía Docente.

Objetivo 2. Pre-evaluación de los contenidos didácticos desarrollados por los estudiantes que participan en el proyecto y que ya han cursado la asignatura. **Evaluación posterior por los/as alumnos/as de la asignatura** para confirmar si se cumplen sus expectativas de aprendizaje.

Objetivo 3. Aprendizaje de nuevas herramientas digitales por parte de los profesores, para la creación de cuestionarios de autoevaluación (plataforma WooClap).

Objetivo 4. Integrar los contenidos didácticos de autoevaluación en herramientas digitales que incrementen la dinámica en el aula, ayudando así a centrar la atención en la clase.

Objetivo 5. Implementar y validar la nueva herramienta de autoevaluación digital para evaluar si los estudiantes han adquirido los conocimientos más importantes de la asignatura. Determinar el valor añadido de la herramienta de autoevaluación digital desarrollada.

Objetivo 6. Transferencia de los resultados y de la metodología desarrollada a otros Organismos y Universidades para su aplicación en otras asignaturas.

Proyecto de Innovación Nº 76 (Convocatoria 2023/2024)

3

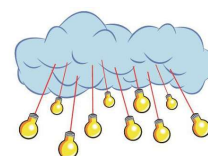
3



METODOLOGÍA Y RESULTADOS

Objetivo 1. Reflexión del alumno en su proceso de aprendizaje mediante la revisión y selección de los conocimientos más importantes abordados en cada lección. Comprobar si los/as alumnos/as identifican correctamente los aspectos más relevantes de la asignatura y si han adquirido las competencias definidas en la Guía Docente.

- **Actividad 1.1.** Desarrollo de **actividades de reflexión** por parte de las profesoras de la asignatura TMA a través de preguntas directas durante el desarrollo de las clases, seminarios y tutorías y mediante la creación de un **grupo de reflexión formado por 15 estudiantes del GIQ**, del curso 2022-23.
- **Actividad 1.2.** **Elaboración de preguntas y respuestas clave** de cada bloque temático por parte de los estudiantes a través de un espacio de trabajo colaborativo en Google Drive.



Proyecto de Innovación Nº 76 (Convocatoria 2023/2024)

4

4

METODOLOGÍA Y RESULTADOS

Objetivo 2. Pre-evaluación de los contenidos didácticos desarrollados por los estudiantes que participan en el proyecto y que ya han cursado la asignatura. Evaluación posterior por los/as alumnos/as de la asignatura para confirmar si se cumplen sus expectativas de aprendizaje.

- **Actividad 2.1.** Identificación de **conceptos clave de la asignatura por parte de las profesoras de TMA** comparando las preguntas y respuestas elaboradas por los estudiantes (actividad 1.1.), con los contenidos didácticos de evaluación diseñados por ellas mismas. De este modo, se han elaborado **contenidos didácticos de autoevaluación para los distintos bloques temáticos de la asignatura:**
 - [Bloque de aguas](#)
 - [Bloque de contaminación atmosférica \(Tema 5\)](#)
 - [Bloque de contaminación atmosférica \(Tema 6\)](#)
 - [Bloque de gestión de residuos](#)
 - [Bloque de suelos](#)
 - [Bloque de gestión ambiental](#)

▼ Proyecto docente

Aviso sobre el uso de materiales disponibles en Campus Virtual

Salvo autorización expresa, los materiales disponibles en el Campus Virtual de TMA sólo se podrán utilizar por los estudiantes de la UCM para el estudio de esta asignatura.

La publicación o distribución posterior (incluida la divulgación en redes sociales o servicios de compartición en Internet) puede violar la normativa de protección de datos y/o la de propiedad intelectual y generar responsabilidad de la persona infractora.

- Preguntas y respuestas bloque aguas (TEMAS 3 y 4)
- Preguntas y respuestas bloque contaminación atmosférica (TEMA 5)
- Preguntas y respuestas bloque contaminación atmosférica (TEMA 6)
- Preguntas y respuestas bloque gestión de residuos (TEMA 7)
- Preguntas y respuestas bloque de suelos (TEMA 8)
- Preguntas y respuestas bloque gestión ambiental (TEMA 9)

Proyecto de Innovación Nº 76 (Convocatoria 2023/2024)

5

5

METODOLOGÍA Y RESULTADOS

Objetivo 2. Pre-evaluación de los contenidos didácticos desarrollados por los estudiantes que participan en el proyecto y que ya han cursado la asignatura. Evaluación posterior por los/as alumnos/as de la asignatura para confirmar si se cumplen sus expectativas de aprendizaje.


- **Actividad 2.2.** Evaluación de los contenidos didácticos. En primer lugar, por los estudiantes de doctorado miembros del proyecto que ya habían cursaron la asignatura TMA-GIQ (pre-evaluación) y, posteriormente, por los **estudiantes de GQ (curso 2023-24) mediante una encuesta de satisfacción** realizada el día del examen de la asignatura (18/01/2024).



Proyecto de Innovación Nº 76 (Convocatoria 2023/2024)

6

6

 **METODOLOGÍA Y RESULTADOS**

Proyecto de Innovación Docente Nº 76 (Convocatoria 2023/2024)

ENCUESTA DE VALORACIÓN

MATERIAL DOCENTE DESARROLLADO EN EL PROYECTO DE INNOVACIÓN DOCENTE Nº76

CURSO 2023-2024

Este es un cuestionario de valoración sobre el material docente desarrollado en el Proyecto de Innovación Docente Nº 76, que consiste en varios documentos que contienen preguntas y respuestas sobre el contenido de la asignatura, permitiendo la autoevaluación de los estudiantes de TMA del Grado de Química. Es importante responder a todas las preguntas planteadas, ya que esto ayudará a detectar y valorar los puntos débiles de la metodología. Agradecemos sinceramente tu colaboración. Tu aporte es fundamental para el continuo desarrollo y mejora de la metodología educativa. (Gracias por tu tiempo!)

Antes de empezar el cuestionario nos gustaría saber: ¿Es la primera vez que cursas esta asignatura?

Sí

No

En caso negativo, ¿Cuántas veces la has cursado considerando este curso? _____

Responde indicando el grado de acuerdo con las siguientes afirmaciones en una escala del 1 (nada de acuerdo) al 5 (totalmente de acuerdo).

Aspectos Técnicos		1	2	3	4	5
1.	El material estaba accesible a través del campus virtual de la asignatura					
2.	He podido descargar y utilizar todos los documentos sin problemas técnicos					
3.	Los documentos estaban bien ordenados de acuerdo con el temario de la asignatura					
Contenido		1	2	3	4	5
4.	He utilizado todo el material docente proporcionado de este Proyecto Docente					
5.	El material docente proporcionado es claro y comprensible					
6.	Este material es mucho mejor de lo que me esperaba					
7.	La cantidad de preguntas y respuestas proporcionadas es adecuada para cubrir los aspectos clave de la asignatura					
8.	Este material me ha permitido aclarar conceptos, facilitar el aprendizaje					
9.	Este material ha contribuido positivamente en el estudio de la asignatura					
10.	Este material me ha permitido autoevaluarme y saber cómo llevo la asignatura					
11.	Como que sería útil elaborar un material similar para otras asignaturas					
12.	El material docente proporcionado me ha servido para preparar el examen y responder a las preguntas propuestas					
13.	En términos generales, estoy satisfecho con este material docente desarrollado					

Algún comentario o sugerencia de mejora: _____


13 preguntas para la valoración de los aspectos técnicos (3 preguntas) y de contenidos (10 preguntas) en una escala del 1 (nada de acuerdo) al 5 (totalmente de acuerdo)

Una pregunta abierta

La evaluación de los alumnos ha sido **muy positiva** tanto en los aspectos técnicos como los relacionados con el contenido, destacando el **81% de los encuestados la utilidad de elaborar un material similar para otras asignaturas.**

Proyecto de Innovación Nº 76 (Convocatoria 2023/2024) **7**


7

 **METODOLOGÍA Y RESULTADOS**

Objetivo 3. Aprendizaje de nuevas herramientas digitales por parte de los profesores, para la creación de cuestionarios de autoevaluación (plataforma WooClap).

- **Actividad 3.1. Formación en Wooclap** como nueva herramienta online de colaboración:
 - Debido a la ausencia de cursos específicos, los profesores **se formaron de manera autodidacta**:
 - Aprendiendo las **diversas funcionalidades** que ofrece Wooclap para la elaboración de preguntas de autoevaluación: preguntas tipo test, de ordenar, etiquetar una imagen, relacionar conceptos...
 - **configuración de la herramienta** cuando se utiliza en el aula (identificación de usuarios, forma de mostrar los resultados, tiempo asignado a cada pregunta...).
 - Los **profesores desempeñaron un papel clave al formar a otros integrantes del proyecto** (investigadores postdoctorales, estudiantes de doctorado y de grado).

<https://www.wooclap.com/es/>



Proyecto de Innovación Nº 76 (Convocatoria 2023/2024) **8**

8

METODOLOGÍA Y RESULTADOS

Objetivo 4. Integrar los contenidos didácticos de autoevaluación en herramientas digitales que incrementen la dinámica en el aula, ayudando así a centrar la atención en la clase.

- **Actividad 4.1.** Para la creación de este **materi al docente digital de autoevaluación** se ha utilizado la herramienta Wooclap y han participado:

- profesores
- investigadores postdoctorales
- estudiantes de doctorado
- un grupo de estudiantes del GIQ (curso 2023-24) que ha colaborado de forma voluntaria en esta tarea.

+ 100 preguntas que permiten fortalecer el proceso de aprendizaje y la autoevaluación de los estudiantes, fomentando un ambiente activo y lúdico (gamificación).



METODOLOGÍA Y RESULTADOS

Objetivo 5. Implementar y validar la nueva herramienta de autoevaluación digital para evaluar si los estudiantes han adquirido los conocimientos más importantes de la asignatura. Determinar el valor añadido de la herramienta de autoevaluación digital desarrollada.

- **Actividad 5.1: Implementación de los contenidos digitales en el aula.**

Se introdujeron las **actividades de autoevaluación basadas en la herramienta interactiva Wooclap** en las asignaturas TMA-GIQ (curso 2023-24) y TMA-GQ (curso 2024-25):

- Sesiones de clase
- Participación activa de los estudiantes
- Fomentando el aprendizaje interactivo a través de preguntas dinámicas, retroalimentación inmediata y análisis en tiempo real de sus respuestas.



METODOLOGÍA Y RESULTADOS

Objetivo 5. Implementar y validar la nueva herramienta de autoevaluación digital para evaluar si los estudiantes han adquirido los conocimientos más importantes de la asignatura. Determinar el valor añadido de la herramienta de autoevaluación digital desarrollada.

- **Actividad 5.2:** Validación de las herramientas digitales. **Encuesta de satisfacción** realizada por los estudiantes del GIQ (curso 2023-24) realizada el día del examen de la asignatura (07/06/2024).
 - Esta encuesta fue contestada por **74 estudiantes**.
 - La evaluación realizada por los estudiantes arrojó **resultados muy positivos**.
 - El **86% de los encuestados** mostró su satisfacción con el material docente, destacando especialmente su **utilidad para preparar el examen de la asignatura**.



METODOLOGÍA Y RESULTADOS

Objetivo 4. Transferencia de los resultados y de la metodología desarrollada a otros Organismos y Universidades



Webinar 11 de diciembre de 2024

CONCLUSIONES

- Experiencia enriquecedora para todos los **participantes en el proyecto**:
 - Conocer si los estudiantes identifican correctamente los aspectos más importantes de la asignatura, pudiendo adaptar su tarea docente.
 - Aprendizaje de una nueva herramienta de autoevaluación para la docencia.
 - Material docente de autoevaluación desarrollado para las asignaturas TMA (GQ y GIQ).
 - Implementar actividades de autoevaluación en el aula.

- Experiencia enriquecedora para todos los **alumnos** del curso 2023/2024:
 - Valoración satisfactoria del material desarrollado y utilizado durante el curso.
 - Mejora de la implicación del estudiante en su proceso formativo - Autoevaluación.
 - Mejora del nivel de atención.
 - Participación más activa en clase.

Con el apoyo de:



“Dinamización en el aula para facilitar el aprendizaje activo de los alumnos: desarrollo de herramientas digitales de autoevaluación”

**Proyecto de Innovación Nº 76
Convocatoria 2023/2024**