

5ª Edición

Conceptos de

Ingeniería Ambiental

Rafael Mujeriego
Catedrático de Ingeniería Ambiental



ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
Universidad Politécnica de Cataluña
Barcelona, febrero de 2011

PRÓLOGO

Esta publicación recoge una serie de preguntas planteadas en los exámenes teóricos de la asignatura Ingeniería Ambiental, de las titulaciones de Ingeniería de Caminos y de Ingeniería Técnica de Obras Públicas, de la ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, desde el curso 2000-2001 hasta el curso 2010-11.

Estas preguntas y respuestas recogen la experiencia pedagógica obtenida durante los 32 años en que hemos venido impartiendo esta asignatura en los diversos planes de estudios de ambas titulaciones.

Las respuestas ofrecidas tratan de desarrollar la capacidad de análisis y de síntesis de los alumnos, a la vez que promover su capacidad para presentar sus conocimientos de forma lógica, sintética y ordenada. La extensión de estas respuestas excede con frecuencia la que los alumnos deben adoptar en los exámenes, con objeto de ilustrar las diversas posibilidades y matizaciones que con que se pueden formular las respuestas.

La vocación de esta quinta edición de Conceptos de Ingeniería Ambiental es familiarizar a los alumnos con el contenido y la forma de los ejercicios que habrán de resolver en sus exámenes. La valoración de las respuestas les ha de permitir confirmar los conocimientos adquiridos en clase y durante sus horas de estudio personal, así como aclarar las dudas que puedan surgirles durante su aplicación.

La elaboración de esta colección ha sido posible gracias a la colaboración de los profesores y los alumnos que han participado en el desarrollo y la docencia de las asignaturas. Cualquier comentario, sugerencia o errata que pueda surgir de la lectura de estas respuestas será bienvenida y considerada para las ediciones futuras.

Barcelona, febrero de 2011.

Rafael Mujeriego
Catedrático de Ingeniería Ambiental
rafael.mujeriego@upc.edu





1. BIOLOGÍA

- 1.1 ¿Cómo se define ecología? ¿Cuál es la unidad mínima de un estudio ecológico? ¿Cómo se define el medio ambiente de un ser vivo? ¿Cómo se define un sistema, qué elementos lo integran y qué factores requiere para su funcionamiento? ¿Qué papel fundamental realizan los productores primarios en un ecosistema?

Estudio científico de las interacciones de los seres vivos completos, a tres niveles de organización (individuo, población, comunidad), con su medio ambiente en el contexto de un sistema. La unidad mínima es un ser vivo. Absolutamente todo lo que rodea a un ser vivo y que puede interactuar con él. Un conjunto de elementos (vivos o inanimados) relacionados entre sí que ante un estímulo (input) producen un resultado (output) y que requieren un flujo de energía para su funcionamiento. El papel fundamental de los productores primarios consiste en sintetizar materia orgánica a partir de elementos minerales (materia inorgánica), utilizando energía solar o química para ello.

- 1.2 ¿Cómo se define ecología? ¿Cuál es la unidad mínima de un estudio ecológico? ¿Cómo se define el medio ambiente de un ser vivo? ¿Cómo se define un sistema, qué elementos básicos lo integran y qué factores requiere para su funcionamiento? ¿Qué connotación específica tiene un eco-sistema?

La rama de las ciencias de la vida que estudia las interacciones de los seres vivos completos, a tres niveles de organización (individuo, población, comunidad), con su medio ambiente en el contexto de un sistema, que se denomina ecosistema. La unidad mínima es un ser vivo completo. Un conjunto de elementos inter-relacionados que ante un estímulo produce un efecto, y que necesita un aporte de energía para funcionar. Los seres vivos, la materia inanimada, las interacciones, el contorno y la energía necesaria para hacerlo funcionar. Un sistema en el que hay al menos un ser vivo y en el que se realiza un estudio ecológico sobre ese ser vivo.

- 1.3 ¿Cómo se define ecología? ¿Cuál es la unidad mínima de un estudio ecológico y cómo se define el medio ambiente de un ser vivo? ¿Cómo se define un sistema, qué elementos básicos lo integran y qué factores requiere para su funcionamiento? ¿Qué connotación específica tiene un eco-sistema? ¿Qué elemento integral de un ecosistema ofrece el mayor reto y la mayor posibilidad para entender su funcionamiento y poder anticipar cambios futuros?

El estudio científico de las interacciones de los seres vivos completos, a tres niveles de complejidad (individuo, población y comunidad) con su medio ambiente, en el contexto de un sistema, que se denomina ecosistema. La unidad mínima es un ser vivo completo; el medio ambiente de un ser vivo es todo aquello que le rodea (tanto de naturaleza viva como inanimada) y con lo que puede interactuar. Un sistema es un conjunto de elementos relacionados entre sí que ante un estímulo (input) genera un producto o reacción (output) y que necesita energía para funcionar; lo integran los seres vivos y la materia inanimada que rodea al ser vivo y con el que pueden interactuar; requiere un flujo de energía: si este flujo se interrumpe, el ecosistema se colapsa (deja de funcionar; los seres vivos y las interacciones se paralizan). Un ecosistema requiere la existencia de un ser vivo, como mínimo, y de un sistema en el que ese ser vivo realiza su actividad. El mayor reto consiste en conocer con suficiente precisión las posibles interacciones entre los elementos del ecosistema; el conocimiento



de esas interacciones permite realizar modelos con los que anticipar/simular los resultados (outputs) que se derivarían de posibles combinaciones de acciones (inputs).

- 1.4 ¿Qué cuatro elementos componen el estudio de una reacción biológica? ¿Cómo se clasifican los reactores biológicos en función de su régimen hidráulico? ¿Qué cuatro tipos de reactores (ideales y reales) pueden considerarse en la práctica? ¿Qué característica esencial tiene cada uno de esos reactores ideales? ¿Qué reactor de flujo continuo tiene una similitud cinética con un reactor de flujo discontinuo? Razonar la respuesta.

El sustrato (sobre el que se realiza la reacción), el agente activo (que lleva a cabo la reacción), el reactor (en donde se efectúa la reacción) y las condiciones ambientales (en las que se realiza la reacción). Flujo hidráulico continuo (fluido afluente y fluido efluente) y flujo discontinuo (sin flujo de fluido). Reactores reales de flujo discontinuo, reactores reales de flujo continuo, y reactores ideales de flujo continuo: de mezcla completa y de flujo en pistón. El reactor ideal de mezcla completa se caracteriza porque su contenido es uniforme, igual en cualquier punto del reactor, incluido el punto de salida del fluido del reactor. El reactor ideal de flujo en pistón se caracteriza por que el contenido de una sección transversal se desplaza a lo largo del reactor sin mezclarse con la sección precedente o con la posterior. El reactor de flujo discontinuo tiene un comportamiento cinético idéntico al de un reactor ideal de flujo en pistón, pues sus contenidos no se mezclan con ningún otro durante el tiempo que dura la reacción.

- 1.5 ¿Cuáles son los tres indicadores de contaminación fecal más frecuentemente utilizados en análisis de aguas? ¿Qué tres propiedades principales debe poseer un indicador? ¿Qué dos métodos de análisis se utilizan para valorar la presencia de estos indicadores en un agua? ¿Qué unidades se utilizan para expresar los resultados en cada uno de estos métodos de análisis?

Los coliformes totales (CT), los coliformes fecales (CF), en particular *Escherichia coli* (*E. coli*), y los estreptococos fecales (EF). Estar presentes siempre que lo estén los patógenos, ser más numerosos que los patógenos, ser mucho más sencillos, rápidos y económicos (medios materiales y personales) de determinar que los patógenos y tener un comportamiento similar al de los patógenos frente a las condiciones ambientales (naturales o artificiales). Los tubos múltiples junto con el NMP, y la filtración con membrana. NMP/100 mL y ufc/100 mL (unidades formadoras de colonias por 100 mL); en algunos casos se usa también la expresión CT/100 mL, por ejemplo.)

- 1.6 ¿Qué dos técnicas analíticas integran el método del número más probable? ¿Qué tipos de resultados proporciona cada una de esas dos técnicas? ¿Qué distribuciones estadísticas se utilizan en estas técnicas de análisis? ¿Cuáles son las tres hipótesis sobre las que se basa la capacidad de detección del método de filtración con membrana? ¿Qué criterio determina el recuento mínimo y el recuento máximo de colonias a respetar en una membrana de filtración?

La determinación de los tubos múltiples y una estimación estadística basada en los resultados anteriores. La primera proporciona resultados cualitativos (tubos positivos o negativos) y la segunda resultados cuantitativos (concentraciones más probables). La distribución de Poisson y la distribución binomial. Las hipótesis son: 1) que todos los microorganismos quedan retenidos en la membrana, 2) que todos los microorganismos retenidos crecen y desarrollan una colonia visible y 3) que cada colonia corresponde a un microorganismo individual. El recuento mínimo trata de reducir el error de medida a un valor aceptable (del orden del 5%: una colonia de entre 20 mínimas) y el recuento



máximo trata de evitar que la interferencia entre colonias dificulte su crecimiento y recuento (entre 60 y 100 colonias, dependiendo del tipo de microorganismo, CF ó EF, respectivamente).

- 1.7 ¿Cuándo se dice que una variable aleatoria sigue una distribución log-normal?
 ¿Por qué las concentraciones microbianas ambientales siguen distribuciones de este tipo? ¿Qué estimador se puede utilizar para calcular la $F(x)$? ¿Qué percentiles de la $F(x)$ se utilizan para calcular la desviación estándar de la distribución?
 ¿Cómo se define el coeficiente de variación de una muestra de una variable?
 ¿Qué interpretación tiene un valor elevado del coeficiente de variación?

Cuando el logaritmo de la variable es una nueva variable que se ajusta a una distribución normal. Porque las concentraciones microbianas registran una gran variabilidad entre muestras sucesivas: se pueden observar unas concentraciones muy altas y otras muy bajas. Los estimadores más frecuentemente utilizados son $F(x) = i/(n+1)$ y $F(x) = (i - 0,5)/n$. El cálculo de la desviación típica o desviación estándar se realiza con la formula: $s = X50 - X16$, o bien $s = X84 - X50$. El coeficiente de variación se obtiene mediante la expresión $(CV) = \text{desviación típica}/\text{media}$. Refleja una gran dispersión relativa de los datos experimentales evaluados.

- 1.8 ¿Qué dos parámetros determinan una distribución de probabilidad normal?
 ¿Cómo se designan estos parámetros en el caso de la población completa de la variable y en el de una muestra restringida de esa población? ¿Que forma tiene la distribución de frecuencias acumuladas de una distribución normal? ¿Qué ventaja ofrece la utilización de papel de probabilidad normal para estimar los parámetros de una distribución? ¿Qué estimador se utiliza para obtener el valor de $F(x)$ del valor de una variable?

La media y la desviación típica. En el caso de la población completa son " μ " y " σ ", mientras que en el caso de una muestra parcial de la población son " \bar{x} " y " s ". La distribución acumulada tiene la forma de una curva sigmoide en unos ejes "variable independiente" frente a " $F(x)$ ". La utilización de un papel de probabilidad normal (con una escala no lineal) permite transformar esa curva sigmoide en una línea recta, lo que facilita enormemente la obtención de la distribución acumulada, mediante la interpolación de una línea recta entre los valores experimentales. El estimador comúnmente utilizado es $F(x) = [i/(n+1)] \cdot 100$.

- 1.9 ¿En qué consiste el proceso de nitrificación? ¿Qué tipo de reacción química es?
 ¿Qué especies microbianas lo realizan? ¿Cómo se denominan estos microorganismos en función de su fuente de energía y de su aceptor de electrones? ¿Cuál es la movilidad relativa, en un suelo natural, del compuesto inicial y del compuesto final de este proceso? ¿Qué proceso físico-químico es responsable de ello? ¿Cuál de esos compuestos tendrá tendencia a contaminar las aguas subterráneas?

La conversión del nitrógeno amoniacal en nitratos. Es una oxidación química, en la que el nitrógeno pasa de valencia -3 a valencia +5. La oxidación la realizan las bacterias nitrificantes o nitrificadoras: el género nitrosomonas oxida el nitrógeno amoniacal a nitritos y el género nitrobacter oxida los nitritos a nitratos. Estos microorganismos obtienen energía de esta reacción química y se denominan quimiosintéticos o litotrofos; el aceptor de electrones es el oxígeno y se denominan aerobios. El nitrógeno amoniacal, en particular el ión amonio, tiene tendencia a quedar adsorbido en las partículas del suelo (especialmente las arcillosas), lo que retarda o impide su



percolación a través del suelo; el ión nitrato no experimenta una retención similar y por tanto es fácilmente arrastrado por el agua (de lluvia o de riego) cuando ésta percola por el suelo. En consecuencia, el nitrógeno amoniacal difícilmente contaminará las aguas freáticas, mientras que los nitratos alcanzarán fácilmente las aguas freáticas, contaminando los acuíferos.

- 1.10 ¿En qué consiste el proceso de nitrificación y qué tipo de reacción química es? ¿Qué especies microbianas lo realizan? ¿Cómo se denominan estos microorganismos en función de su fuente de energía y de su aceptor de electrones? ¿Cuál es la movilidad relativa, en un suelo natural, del compuesto inicial y del compuesto final de este proceso? ¿Qué proceso físico-químico es responsable de ello y cuál de esos compuestos tendrá tendencia a contaminar las aguas subterráneas?

La nitrificación es el proceso (químico y biológico) de conversión progresiva del nitrógeno amoniacal (con valencia -3) en nitritos (valencia +3) y en nitratos (valencia +5); es una oxidación química en cuanto que el nitrógeno pierde electrones desde la valencia (-3) a la valencia (+3) y la valencia (+5). El proceso biológico lo realizan las bacterias nitrificantes o nitrificadoras, integradas por los géneros nitrosomonas (de amoníaco a nitritos) y nitrobacter (de nitritos a nitratos). Estos microorganismos obtienen su energía vital a partir de esa reacción química y son por tanto quimiosintéticos o litotrofos (energía de compuestos químicos minerales) y utilizan el oxígeno como aceptor de electrones y son por tanto aerobios. Tanto el amoníaco como el ión amonio tienen tendencia a quedar retenidos sobre la superficie de las partículas del suelo, especialmente si estas tienen carácter arcilloso; por el contrario, el ión nitrato carece de esta tendencia a quedar retenido y percola fácilmente entre las partículas del suelo, siendo arrastrado por los flujos de agua. El proceso responsable es de tipo físico-químico, mediante el intercambio de electrones entre el amoníaco y el amonio y los radicales libres de las partículas del suelo; como consecuencia de ello, las aguas subterráneas difícilmente serán contaminadas por la presencia de amoníaco y amonio, mientras que los nitratos percolarán fácilmente hacia las capas profundas del suelo, arrastrados por el agua de lluvia o de riego, pudiendo llegar a contaminar de forma significativa los acuíferos (aguas subterráneas).

- 1.11 ¿En qué consiste el proceso de desnitrificación? ¿Qué tipo de reacción química es? ¿Qué especies microbianas lo realizan? ¿Cómo se denominan estos microorganismos en función de su fuente de energía y de su aceptor de electrones? ¿Qué técnicas utilizan los agricultores para evitar la desnitrificación de los fertilizantes aportados a los cultivos?

La eliminación de los nitratos de una agua, mediante la utilización de estos como aceptores de electrones durante la degradación de la MO realizada por los microorganismos anaerobios; el nitrógeno se libera a la atmósfera en forma de nitrógeno gas. Es una reducción química, pues el nitrógeno pasa de valencia (+5) a valencia (0). Las bacterias desnitrificantes, que son quimiosintéticas (utilizan la energía de la materia orgánica oxidada) y anaerobias (utilizan el nitrógeno, y no el oxígeno, como aceptor de electrones). El arado controlado de los campos es una forma de promover y asegurar la aireación (oxigenación) del suelo.

- 1.12 ¿Qué especies químicas participan en el ciclo del nitrógeno y qué estado de valencia tiene el nitrógeno en cada una de ellas? ¿Cómo se denomina el proceso de conversión del nitrógeno gas en nitrógeno orgánico? ¿Qué tipo de reacción química es y quiénes son los principales microorganismos que la realizan? ¿Qué



tipo de simbiosis establecen con las plantas en las que viven y cómo se explica el alto contenido proteínico de los frutos de esas plantas?

Nitrógeno amoniacal (-3), nitrógeno gas (0), nitritos (+3) y nitratos (+5). Fijación del nitrógeno. Es una reducción química: el nitrógeno gana electrones, pasando de valencia (0) a valencia (-3). Las bacterias rizobium y las algas cianofíceas (algas verde-azules). Las bacterias del género rizobium aportan nitrógeno orgánico a las plantas y las plantas aportan materia orgánica sintetizada a las bacterias. La planta y sus frutos se enriquecen de proteínas, lo que las hace especialmente nutritivas para la alimentación humana y animal; entre ellas figuran las leguminosas.

- 1.13 ¿Qué procesos físicos y microbiológicos intervienen en el “efecto corona” o de “corrosión biogénica” de los conductos de alcantarillado? ¿Qué dos ácidos inorgánicos son responsables de la corrosión de los conductos y cuáles son los microorganismos que generan cada uno de ellos? ¿Qué condiciones de aireación requieren cada uno de estos tipos de microorganismos? ¿Qué medida preventiva (proyecto) y qué medida operativa (explotación) pueden adoptarse para minimizar este proceso?

El proceso se inicia con la oxidación de la materia orgánica contenida en el agua y en los sedimentos de la alcantarilla. Cuando el oxígeno se agota, se inicia el metabolismo de diversas bacterias anaerobias, que utilizan los nitratos (desnitrificantes) y los sulfatos (sulfatoreductoras) como aceptores de electrones. El ácido sulfhídrico (gas) generado por éste último proceso asciende hacia la superficie del agua y emigra hacia la bóveda de la alcantarilla, pudiendo ser previamente oxidado por el aire presente en la alcantarilla. El sulfhídrico condensado en la bóveda de la alcantarilla es oxidado por microorganismos del género tiobacillus, que lo convierten en ácido sulfúrico. Estos dos ácidos, fuertes y corrosivos, atacan los materiales de la alcantarilla por encima del nivel del agua, dejando una huella similar a una corona grabada sobre el material. Los primeros (sulfato-reductores) necesitan condiciones anaerobias, mientras que los segundos (tiobacillus) son aerobios. Las posibles medidas preventivas son: utilizar materiales resistentes (gres, plástico), una pendiente adecuada, una ventilación adecuada, una menor sección mojada que propicie velocidades altas del agua. Las posibles medidas operativas son: limpieza periódica de los sedimentos, mediante la extracción de los mismos, o el arrastre periódico de los sedimentos con descargas de agua puntuales (mangueras) o sistemáticas (depósitos de descarga).

- 1.14 ¿Cómo se inicia y cómo progresa el proceso de corrosión biogénica de los conductos de alcantarillado? ¿Qué sustancias son responsables de esa corrosión, qué microorganismos son responsables de la generación esas sustancias y qué sustancias actúan como aceptores de electrones de su metabolismo? ¿Qué dos criterios se adoptan para evitar la causa inicial de este proceso? ¿Qué dos criterios se adoptan para mitigar la incidencia de este proceso, cuando no puede evitarse su presencia?

El proceso se inicia con la mineralización anaerobia de la materia orgánica presente en el agua y los sedimentos de la alcantarilla, utilizando los sulfatos como aceptores de electrones. Este proceso genera ácido sulfhídrico que asciende hasta la bóveda de la alcantarilla, donde se condensa. En condiciones aerobias, el ácido sulfhídrico es oxidado a ácido sulfúrico por los microorganismos del género tiobacillus, y discurre por la superficie interna de la alcantarilla. Las sustancias son el ácido sulfhídrico y el ácido sulfúrico, el primero es generado por las bacterias sulfato-reductoras y el segundo por las bacterias del género tiobacillus; los primeros utilizan los sulfatos como aceptores de



electrones (anaerobios) y los segundos el oxígeno (aerobios). Dotar de mayor pendiente a la alcantarilla (mayor velocidad de arrastre de los sedimentos) y la utilización de materiales resistentes a la corrosión biogénica (gres, plástico). La limpieza periódica de los sedimentos, la ventilación intensa de la alcantarilla para oxidar y evacuar el ácido sulfhídrico, la aportación de otros aceptores de electrones (nitratos), la adición de sales de hierro para promover que éste secuestre los sulfuros.

- 1.15 ¿Qué procesos físicos y microbiológicos provocan la "corrosión biogénica" de los alcantarillados? ¿Qué dos compuestos químicos son responsables de la corrosión de los conductos y cuáles son las especies de microorganismos que generan cada uno de ellos? ¿Cuál es el aceptor de electrones de cada uno de estos microorganismos y cómo se denominan por ello? ¿Qué dos medidas preventivas (proyecto) pueden adoptarse para evitar o minimizar este proceso? ¿Qué dos medidas operativas (explotación) pueden adoptarse para evitar o minimizar este proceso?

El proceso se inicia con la oxidación química y biológica de la materia orgánica disuelta y en suspensión de las aguas residuales que circulan por la alcantarilla; cuando el oxígeno disuelto disponible en el agua circulante disminuye o desaparece, los microorganismos aerobios interrumpen su actividad y los anaerobios la intensifican, utilizando otros aceptores de electrones, como son los nitratos (desnitrificadores) y los sulfatos (sulfato-reductores); este último proceso genera gas sulfhídrico que tras ascender por la lamina de agua emigra (su temperatura es superior a la del aire) hacia la bóveda de la alcantarilla, donde se condensa y es oxidado por microorganismos del género thiobacillus, que lo convierten en ácido sulfúrico. El ácido sulfhídrico y el ácido sulfúrico son los dos compuestos químicos responsables de la intensa corrosión de los conductos y de los materiales de los alcantarillados, dejando una marca por encima de la superficie del agua similar a una corona (dando lugar al llamado efecto corona o de corrosión biogénica). Los sulfato-reductores generan el ácido sulfhídrico y los thiobacillus generan el ácido sulfúrico. El aceptor de electrones de los primeros es el ión sulfato y son por tanto anaerobios y el aceptor de los segundos es el oxígeno y son por tanto aerobios. Las dos medidas de proyecto: evitar la acumulación de materia orgánica sedimentable en la alcantarilla, mediante pendientes marcadas y secciones transversales reducidas, y la utilización de materiales resistentes a la acción de estos dos ácidos, como los materiales plástico o la arcilla vitrificada (grés). Dos medidas operativas: promover la aireación y la extracción/limpieza de materiales orgánicos sedimentables y la utilización de aceptores de electrones (nitratos) o secuestrantes de sulfuros (ión ferroso).

- 1.16 ¿Cómo se denominan los seres vivos que sintetizan materia orgánica a partir de materia inorgánica? ¿Qué residuos gaseoso y energético se generan a medida que la materia así sintetizada avanza por la cadena trófica en condiciones aerobias? ¿Cómo se denominan los seres vivos responsables del retorno de esta materia orgánica al estado mineral? ¿Qué dos especies microbianas son las mayoritariamente integrantes de este grupo? ¿En qué consiste la bioacumulación? ¿Cómo se explica el efecto potenciador que una sustancia bioacumulable puede tener en la cadena trófica?

Productores primarios. Se genera dióxido de carbono, vapor de agua y calor. Descomponedores. Los hongos y las bacterias. Acumulación en el interior del protoplasma celular de sustancias (sintéticas) que los seres vivos no son capaces de mineralizar parcial o totalmente. Cuando un predador consume una presa, se potencia el efecto acumulador progresivo, haciendo aumentar la masa total de sustancia



retenida en los predadores superiores (los últimos de la cadena trófica), hasta alcanzar una cantidad peligrosa/dañina para ellos o para los consumidores humanos.

- 1.17 ¿Qué cuatro factores básicos permiten controlar el desarrollo de un cultivo microbiano? ¿Cómo se denominan esos cuatro factores en el caso del ensayo de filtración con membrana? ¿Qué dos criterios visuales se utilizan para identificar y confirmar las colonias de un tipo concreto de microorganismos que crecen en una de estas membranas? ¿Qué criterios se utilizan para limitar el número mínimo y máximo de colonias crecidas sobre una membrana? ¿Qué unidad se utiliza para expresar el resultado?

El reactor donde tiene lugar la reacción, el inóculo microbiano necesario para iniciar el proceso, el sustrato utilizado para que se desarrolle el cultivo, y las condiciones ambientales adecuadas para el desarrollo del cultivo. El reactor es la placa de Petri con la membrana filtrante, el inóculo son los microorganismos retenidos en la membrana durante la filtración de la muestra de agua, el sustrato es el medio de cultivo depositado en el fondo de la placa de Petri, las condiciones de cultivo las proporciona básicamente la estufa de cultivo y el tiempo de cultivo. Los criterios son el tamaño de las colonias y el color de las mismas. Un número mínimo para mantener el posible error de medida por debajo de un cierto valor (5%, 20 colonias), y el valor máximo (60-100) para asegurar que las colonias no se interfieren entre sí durante el proceso de crecimiento y permiten un recuento sencillo. El resultado se expresa en unidades formadoras de colonias por 100 ml (ufc/100 ml).

- 1.18 ¿Cómo se denominan los cuatro factores operativos que controlan el crecimiento microbiano durante el ensayo de filtración con membrana? ¿Cuáles son las tres hipótesis operativas del método analítico de filtración con membrana? ¿Qué dos criterios visuales se utilizan para identificar y confirmar las colonias de un tipo concreto de microorganismos que crecen en una de estas membranas? ¿Qué criterios se utilizan para limitar el número mínimo y máximo de colonias crecidas sobre una membrana? ¿Qué unidad se utiliza para expresar los resultados?

Inóculo: el volumen de agua utilizado para el ensayo; el sustrato: el medio de cultivo adoptado para que se desarrollen los microorganismos analizados; el reactor: la placa de Petri en que se aloja el medio de cultivo y la membrana portadora de los microorganismos; las condiciones ambientales: las condiciones de incubación (temperatura, tiempo) apropiadas para el desarrollo de los microorganismos analizados. Todos los microorganismos quedan retenidos en la membrana durante la filtración; todos los retenidos crecen durante su incubación en la placa de Petri; cada microorganismo retenido genera una colonia de microorganismos. Se utilizan el color y el tamaño de la colonia (mm). Se requiere un número mínimo de colonias (20 colonias) para limitar el error posible a un 5%, y se limita un número máximo para evitar que las colonias se solapen y el crecimiento quede interferido, además de dificultar la lectura/recuento de las colonias (oscila entre 60 colonias para los CF y las 100 colonias para los EF, en función del tamaño de las colonias de cada microorganismo). La unidad de medida es "unidades formadoras de colonias/100 ml"; ufc/100 ml.

- 1.19 ¿Cómo se denominan los cuatro factores operativos que controlan el crecimiento microbiano de un ensayo de filtración con membrana? ¿Cuáles son las tres hipótesis operativas del método analítico de filtración con membrana? ¿Qué dos criterios visuales se utilizan para identificar y confirmar las colonias de un determinado tipo de microorganismos que crecen sobre una membrana? ¿Qué criterios se utilizan para limitar el número mínimo y el número máximo de



colonias desarrolladas sobre una membrana? ¿Qué unidad se utiliza para expresar los resultados?

El inóculo, integrado por los microorganismos iniciales retenidos sobre la superficie de la membrana; el sustrato, integrado por el medio de cultivo colocado en el fondo de la placa de Petri y con el que los microorganismos podrán crecer y desarrollar colonias visibles; el reactor, integrado por la placa de Petri en donde se coloca la membrana con los microorganismos retenidos; y las condiciones ambientales del cultivo, expresadas mediante la temperatura, el tiempo y las condiciones de incubación de las placas de Petri para que los microorganismos se desarrollen en forma de colonias. Las tres hipótesis: que todos los microorganismos presentes en la muestra de agua filtrada quedan retenidos en la membrana, que todos los microorganismos retenidos crecen durante el proceso de incubación y que cada microorganismo genera una colonia individual (lo que equivale a decir que cada colonia es generada por un único microorganismo). Los criterios visibles son: el tamaño de las colonias, en mm, y el color característico de los microorganismos determinado por el medio de cultivo (con colorantes) utilizado en cada caso. El recuento mínimo viene fijado por el objetivo de limitar un error máximo del 5%, para lo cual se establece un recuento mínimo de 20 colonias (un error de lectura de 1 colonia representa un error del 5% respecto a un total de 20 colonias); el recuento máximo viene fijado por el objetivo de evitar la superposición de colonias sobre la membrana, es decir, asegurar que crecen de forma separada unas de otras, haciendo fiable un recuento visual; esta cifra oscila entre 60 y 100 colonias, dependiendo del tamaño característico de las colonias de los diferentes microorganismos analizados. Las unidades son ufc/100 mL (unidades formadoras de colonias por 100 mL).

1.20 ¿Qué tres propiedades principales debe poseer un indicador microbiológico de contaminación? ¿Qué dos técnicas analíticas integran el método del Número Más Probable y qué distribuciones estadísticas se utilizan en para interpretar los resultados del análisis? ¿Cuáles son las tres hipótesis sobre las que se basa la capacidad de detección del método de filtración con membrana? ¿Qué criterio determina el recuento mínimo y el recuento máximo de colonias a respetar en una membrana de filtración? ¿Qué unidades se utilizan para expresar los resultados de cada uno de estos métodos de análisis?

Estar presente siempre que lo estén los patógenos, estar presente en concentración superior a la de los patógenos, tener métodos de detección más sencillos, económicos y rápidos que los patógenos y tener un comportamiento similar al de los patógenos ante las condiciones ambientales. Las dos técnicas son: una cualitativa, denominada de los tubos múltiples, que proporciona resultados positivos o negativos, y otra posterior cuantitativa, denominada del número más probable, que permite estimar estadísticamente el contenido de microorganismos a partir de las valoraciones cualitativas anteriores; la distribución de Poisson y luego la distribución binomial. Las tres hipótesis: que todos los microorganismos presentes en la muestra de agua filtrada quedan retenidos en la membrana, que todos los microorganismos retenidos crecen durante el proceso de incubación y que cada microorganismo genera una colonia individual (lo que equivale a decir que cada colonia es generada por un único microorganismo). El recuento mínimo viene fijado por el objetivo de limitar un error máximo del 5%, para lo cual se establece un recuento mínimo de 20 colonias (un error de lectura de 1 colonia representa un error del 5% respecto a un total de 20 colonias); el recuento máximo viene fijado por el objetivo de evitar la superposición de colonias sobre la membrana, es decir, asegurar que crecen de forma separada unas de otras, haciendo fiable un recuento visual; esta cifra oscila entre 60 y 100 colonias,



dependiendo del tamaño característico de las colonias de los diferentes microorganismos analizados. Las unidades son NMP/100 mL para el número más probable y de ufc/100 mL para la filtración con membrana.

- 1.21 ¿Cuál es la fuente principal de carbono inorgánico disponible biológicamente en la troposfera? ¿En qué formas químicas se encuentra en ese medio natural? ¿Qué procesos aerobios son responsables de la síntesis de carbono orgánico y de la mineralización de este carbono orgánico, citando un ejemplo concreto de cada uno de estos procesos? ¿Qué exigencia debe aplicarse a las actividades agrícola y forestal para asegurar que actúan como formas permanentes de retención de carbono? ¿Cómo se justifica el carácter de renovable que se concede a los recursos energéticos obtenidos de los bosques?

El dióxido de carbono en las masas de agua de los océanos. Como dióxido de carbono disuelto en el agua y en las especies químicas del ácido carbónico resultante de la reacción de dióxido de carbono con el agua, bicarbonatos y carbonatos. La fotosíntesis sintetiza carbono orgánico (ej. el cultivo agrícola y forestal) y la respiración/combustión aerobia de la materia orgánica sintetizada (la alimentación de los animales, la combustión de madera o petróleo) vuelve a generar dióxido de carbono. Que la materia orgánica sintetizada (la biomasa) permanece como tal, reteniendo de forma permanente (plazos más o menos largos) el dióxido de carbono en su protoplasma. Son recursos renovables en cuanto que pueden ser generados de nuevo por los productores primarios a partir de la materia mineral liberada durante la mineralización llevada a cabo por los consumidores y los descomponedores. En definitiva es un ciclo del carbono permanente impulsado básicamente por la energía luminosa del sol.

- 1.22 ¿Cuál es la fuente principal de carbono inorgánico disponible biológicamente en la troposfera? ¿En qué formas químicas se encuentra en ese medio natural? ¿Qué procesos aerobios son responsables de la síntesis de carbono orgánico y de la mineralización de este carbono orgánico, citando un ejemplo concreto de cada uno de estos procesos? ¿Qué exigencia debe aplicarse a las actividades agrícola y forestal para asegurar que actúan como formas permanentes de retención de carbono? ¿Cómo se justifica el carácter de renovable que se concede a los recursos energéticos obtenidos de los bosques?

El dióxido de carbono atmosférico y las formas químicas resultantes de su reacción con el agua (carbonatos y bicarbonatos) de los ríos, mares y océanos. En forma de gas (dióxido de carbono), en forma disuelta (carbonatos y bicarbonatos) y en forma sólida (en forma de carbonatos sólidos). La síntesis de carbono orgánico se realiza fundamentalmente por medio de la fotosíntesis (la realizan las plantas y las algas); la mineralización aerobia se realiza mediante la respiración y la combustión en presencia de oxígeno, como la realizan las personas y los microorganismos descomponedores, así como mediante la combustión. Los productos deben permanecer en esa forma: muebles, estructuras de madera, o bien árboles vivos, de modo que el dióxido de carbono quede permanentemente retenido (secuestrado) en su masa. Son recursos renovables porque el dióxido de carbono liberado en su mineralización (consumo alimentos, incineración de madera) puede ser utilizado por los productores primarios para producir nueva materia orgánica por fotosíntesis (incorporando energía solar), haciendo que el dióxido de carbono pase a formar parte integral de su masa biológica (secuestrado físicamente). El calificativo de renovable no se aplica a los recursos fósiles como el carbón y el petróleo, porque su regeneración comporta períodos de tiempo mucho más largo (tiempos geológicos).



- 1.23 ¿Qué especies químicas constituyen la fuente principal de fósforo mineral? ¿Cómo se explica la concentración tan pequeña que estas especies registran en las aguas naturales? ¿En qué tres formas físicas naturales o sintéticas se suele encontrar el fósforo en el medio ambiente? ¿Qué adaptación evolutiva han desarrollado los seres acuáticos para desarrollarse en un medio con tan baja concentración de fósforo? ¿Cómo se explica la gran importancia de la erosión de los suelos (naturales y agrícolas) en la aportación de fósforo a las masas de agua superficiales?

Las formas del ácido ortofosfórico (disueltas en agua y conocidas bajo el nombre genérico de ortofosfato), los polifosfatos disueltos y los fosfatos sólidos en formaciones geológicas. Los ortofosfatos son muy insolubles, de modo que en presencia de cationes, especialmente polivalentes (calcio, magnesio, hierro, aluminio) precipita y decanta hacia el fondo de las masas de agua, haciendo que su concentración disponible sea muy baja. El ortofostato y sus formas ionizadas asociadas, los polifosfatos, y los fosfatos contenidos en la materia orgánica en forma de partículas (restos de materia orgánica que contiene fósforo). Se han adaptado a reciclarlo de forma muy efectiva, como forma de compensar su escasa presencia en el medio acuático. Esa misma tendencia a precipitar en presencia de cationes hace que los fosfatos añadidos a un suelo se concentren fundamentalmente en las capas superiores del suelo (precipitan tan pronto encuentran los cationes polivalentes presentes en el suelo); la erosión y arrastre de estas capas superiores representa una gran aportación de fósforo hacia las masas de agua adonde accedan, favoreciendo el desarrollo de productores primarios, a causa del aporte de fosfatos provocado por este proceso.



2. QUÍMICA

- 2.1 ¿Qué tres criterios básicos deben cumplir los recipientes utilizados para el muestreo de un agua, con objeto de no alterar su calidad? ¿Qué dos criterios básicos de conservación suelen adoptarse para preservar una muestra durante su transporte al laboratorio? ¿Qué precaución suele adoptarse con el tapón de una botella de vidrio esterilizada y por qué? ¿Qué objetivo tiene y qué reactivo se incorpora en una botella de muestreo para análisis microbiológico, cuando el agua contiene cloro como desinfectante? ¿Cuáles son las fases iniciales y final de un proceso de evaluación de la calidad de un agua y qué misión básica tiene cada una de ellas?

El recipiente no debe aportar sustancias a la muestra, no debe retener sustancias de la muestra y no debe permitir el paso de sustancias a la muestra, a través de las paredes o la boca del recipiente. Refrigerarla en una nevera portátil y mantenerla en la oscuridad. Colocar una tirita de papel para asegurar que el aire de la botella queda en equilibrio con el exterior, y la botella no queda con una presión negativa, al enfriarse después de su esterilización a más de 100°C. Se añade un oxidante (tiosulfato sódico) para destruir el cloro que puede contener la muestra inicial, evitando así que el desinfectante siga actuando sobre los microorganismos que pueda haber en la muestra, durante el tiempo transcurrido desde el muestreo hasta el análisis. El proceso se inicia con la toma de muestras en el medio ambiente (el objetivo es obtener una porción representativa) y termina con un informe razonado (donde se interpreta la situación del medio en relación con los objetivos del proceso de evaluación que se ha realizado).

- 2.2 ¿Cómo se define el residuo seco de un agua y en qué unidades se expresa? ¿Qué proceso operativo concreto se utiliza para diferenciar la materia disuelta de la materia en suspensión? ¿Y para diferenciar entre la materia orgánica y la inorgánica? ¿Cuál es la expresión y el fundamento de la ley de Beer-Lambert? ¿Cómo se elabora la curva patrón de un análisis colorimétrico, y cuantos valores conviene considerar para asegurar su fiabilidad?

El material restante tras la evaporación del agua de la muestras a temperaturas de 103, 130 ó 180°C; se expresa en mg/L. La filtración de la muestra mediante una membrana de 0,45 µm de diámetro de poro permite diferenciar la materia disuelta (filtrable) de la materia en suspensión (no filtrable). La combustión en una mufla (horno a 550°C) permite diferenciar la materia orgánica (volátil, al convertirse en dióxido de carbono y vapor de agua) de la materia inorgánica (no volátil). La ley de Beer-Lambert se expresa así $\text{Absorbencia} = k \cdot C \cdot L$, donde k es una constante (aparato, muestra de agua y temperatura), C es la concentración de la sustancia que absorbe luz de una determinada longitud de onda, y L es la longitud recorrida por el rayo luminoso cuya absorción se mide. La curva patrón se determina calibrando el espectrofotómetro (absorbencia nula para la muestra en blanco) y aplicando a diversas muestras de concentración conocida (patrones) el método analítico, de modo que se puede representar gráficamente la concentración (abscisas) frente a la absorbencia (ordenadas). Conviene realizar al menos tres patrones para asegurar que la línea recta definida por dos valores queda confirmada por un tercero.

- 2.3 ¿Cómo se define el residuo seco de un agua y en qué unidades se expresa? ¿Qué proceso operativo concreto se utiliza para diferenciar la materia disuelta de la



materia en suspensión y qué tipos de filtros pueden utilizarse para ello? ¿Qué criterio operativo se utiliza para diferenciar entre materia orgánica y inorgánica? ¿Qué limitación práctica tiene este proceso y qué consecuencias tiene sobre los resultados numéricos obtenidos? ¿Qué dos tipos de filtros se utilizan para la determinación de materia orgánica y qué característica específica tiene cada uno de ellos?

La materia que queda tras evaporar el agua en que estaba disuelta utilizando temperaturas de 102, 130 ó 180°C, y expresada en mg/L. La filtración a través de un filtro con un tamaño medio de poro limitado: la materia que pasa por los poros se denomina materia disuelta, y la materia retenida se denomina materia en suspensión. Los tamaños medios de poro utilizados son 0,45 y 1,2 µm. La incineración en una mufla a temperatura de 500 ± 50°C: la materia que permanece se denomina materia inorgánica, y la materia que se convierte en dióxido de carbono y vapor de agua se denomina materia volátil o materia orgánica. La limitación es que una parte de la materia inorgánica (por ejemplo, los carbonatos) pueden volatilizarse en parte (el agua contenida en los carbonatos, convirtiéndolos en óxidos) haciendo que la estimación de la materia orgánica sea sobre-estimada; la materia inorgánica es por tanto sub-estimada. Los tipos de filtro utilizados cuando se somete la muestra a la incineración en una mufla han de ser de uno de estos dos tipos: filtros sin ceniza (se volatilizan completamente) o filtros de fibra de vidrio (no se volatilizan en absoluto); de este modo se evita cualquier interferencia incontrolada en la determinación del peso asociado con la presencia del filtro.

- 2.4 ¿Qué criterio operativo se utiliza para determinar el residuo seco de un agua? ¿Qué criterio operativo y qué medio técnico se utiliza para diferenciar la materia en suspensión y la materia disuelta de un agua? ¿Qué criterio operativo y qué medio técnico se utiliza para diferenciar la materia orgánica de la materia inorgánica? ¿Qué objetivo tiene preservar una muestra en el desecador? ¿Qué precisión tienen las balanzas analíticas utilizadas en los métodos gravimétricos?

Evaporar el agua a una temperatura superior a 100°C, puede ser 102°C, 130°C o bien 180°C. El criterio operativo es filtrar el agua, de modo que las sustancias disueltas pasen y la materia en suspensión quede retenida; se utiliza un filtro de 0,45 µm ó de 1,2 µm, junto con un embudo de filtración. La incineración en una mufla de la muestra desecada, de modo que la materia orgánica se volatilice en forma de dióxido de carbono y vapor de agua, y la materia inorgánica permanezca en el recipiente utilizado; se utiliza una mufla a 550 ± 50°C. El desecador permite asegurar que la muestra se enfría en una atmósfera libre de humedad, de modo que su peso se mantiene inalterado cuando se extrae para colocarla en la balanza. Una balanza analítica tiene una precisión de ± 0,1 mg.

- 2.5 ¿Cómo se define la absorbencia y la transmitancia de un agua a la luz de una cierta longitud de onda? ¿Qué relación numérica hay entre ellas? ¿Cómo se define la ley de Beer-Lambert, indicando el significado de sus factores? ¿Qué tres tipos de muestras se utilizan para realizar un ensayo colorimétrico que obedezca esta ley? ¿Qué proceso metodológico se sigue para la lectura y la interpretación de esas muestras?

Transmitancia es el cociente entre la intensidad de luz transmitida y la intensidad de luz incidente, usualmente en tanto por ciento. Absorbencia es una medida de la luz que queda absorbida por las sustancias disueltas en el agua, por unidad de longitud de trayectoria recorrida por el rayo luminoso. La absorbencia se define como el



logaritmo cambiado de signo de la transmitancia en tanto por uno. La ley de Beer-Lambert establece que la absorbencia de una disolución sobre la luz de una determinada longitud de onda es igual a una constante (dependiente del aparato y la temperatura) multiplicada por la concentración de la sustancia que absorbe la luz y por la longitud del recorrido del rayo luminoso dentro de la disolución acuosa. Muestra en blanco (con todos los reactivos, excepto la sustancia que origina la sustancia coloreada que absorbe luz), muestras patrón (con un contenido conocido de la sustancia coloreada que absorbe luz) y muestras desconocidas (que contienen concentraciones desconocidas de la sustancia que absorbe luz). La muestra en blanco se utiliza para calibrar el espectrofotómetro (100% de transmitancia= absorbencia nula), las muestras patrón se utilizan para definir la recta patrón (absorbencia frente a concentración), la medida de la transmitancia de las muestras desconocidas permite calcular su absorbencia, que introducida en la gráfica de la recta patrón nos permite estimar la concentración de la sustancia que deseamos medir (genera la sustancia coloreada que absorbe luz).

- 2.6 ¿Cómo se define la turbiedad de un agua y qué unidades se utilizan para medirla? ¿Qué nombre técnico y qué características básicas tienen los aparatos utilizados para medirla? ¿Cómo y con qué producto se calibran estos aparatos? ¿Qué dos utilizaciones básicas tiene este parámetro en la gestión de la calidad de un agua? ¿Qué valores de la turbiedad conviene conseguir para satisfacer los correspondientes objetivos de calidad?

Una propiedad óptica del agua que se manifiesta por la dispersión de la luz visible producida por la presencia de materia en suspensión en la muestra de agua; unidades nefelométricas de turbiedad, unt. Nefelómetros o turbidímetros de dispersión, pues miden la intensidad de luz dispersada en la dirección ortogonal (90°) de la luz incidente. Se calibran con una suspensión de la sustancia llamada formacina; utilizando dos puntos de calibración: se ajusta el aparato en vacío (sin muestra de ningún tipo) con una turbiedad nula, y con la lectura teórica de una muestra patrón de formacina (400 unt) diluida hasta una concentración similar a la de las medidas que se desea realizar. Es un parámetro de calidad estética u organoléptica (aspecto visual del agua) y de calidad sanitaria (la presencia de materia en suspensión indica la posible presencia de microorganismos o simplemente de materia en suspensión que puede proteger a los microorganismos frente a la desinfección). Una turbiedad inferior a 10 unt es suficiente para que la vista humana considere el agua libre de materia en suspensión. Para asegurar una excelente calidad sanitaria, conviene rebajar la turbiedad hasta valores iguales o inferiores a 0,2 unt.

- 2.7 ¿Cómo se define la turbiedad de un agua y qué unidades se utilizan para medirla? ¿Qué nombre técnico reciben y cuál es el principio operativo de los aparatos utilizados para medirla? ¿Qué tipo de sustancia se utiliza para calibrar estos aparatos y qué criterio se utiliza para preparar los patrones en cada caso? ¿Qué dos criterios de calidad de un agua de abastecimiento suelen ser evaluados mediante la turbiedad? ¿Qué límites de la turbiedad conviene respetar para satisfacer los objetivos de calidad de cada uno de ellos?

La turbiedad es una propiedad óptica (visual, organoléptica) del agua, debida a la presencia de materia en suspensión (partículas) que se manifiesta por la dispersión (cambio de dirección) de la luz blanca cuando esta choca con las partículas en suspensión; las unidades son "unidades nefelométricas de turbiedad, UNT. Los aparatos utilizados para medir la turbiedad se denominan turbidímetros, y muy especialmente los turbidímetros de dispersión, o nefelómetros, con los que se mide la intensidad de



luz dispersada a 90° de la luz incidente. Se utiliza un patrón de "formacina", un polímero sintetizado en el laboratorio, en condiciones controladas, y al que se le asigna una turbiedad de 400 UNT; la calibración de los turbidímetros se realiza, primero, con una cámara cerrada y sin muestra de ningún tipo, a la que se le asigna una turbiedad nula, y a continuación con una muestra de formacina, diluida hasta niveles similares a los de la muestra que se desea medir. Criterio de calidad visual u organoléptica (calidad estética del agua) y criterio de calidad sanitaria, en cuanto que la turbiedad puede ser debida a partículas en suspensión generadas por la presencia de microorganismos (individuales o aglomerados) o a materia en suspensión mineral que puede a su vez ofrecer protección física de los microorganismos frente a los agentes desinfectantes: las partículas protegen a los microorganismos frente al efecto del desinfectantes. Mientras que para satisfacer la calidad organoléptica (visual, estética) del agua basta con respetar límites de 10 UNT (la vista humana no los detecta), la calidad sanitaria de un agua suele requerir niveles de turbiedad próximas al nivel de detección del turbidímetro, siempre inferior a 1 UNT.

- 2.8 ¿Cómo se define la conductividad eléctrica (CE) de un agua? ¿Cómo se denominan los aparatos utilizados para medirla y cuál es su principio de funcionamiento? ¿Qué unidades se utilizan para expresarla en el ámbito de la potabilización de aguas y en el ámbito agronómico? ¿Cuál es el factor de conversión entre ellas? ¿Qué conductividad suele tener un agua potable y a qué nivel de conductividad comienzan las plantas a tener dificultades para su crecimiento?

La capacidad de un agua para transmitir la corriente eléctrica cuando se introducen en ella dos electrodos cargados eléctricamente (una diferencia de potencial), debido a la presencia de sales disueltas (cationes y aniones), y referida a la temperatura de 25°C. Conductímetros o conductivímetros. Su principio de funcionamiento es la medida de la resistencia que ofrece el agua o la intensidad de corriente que atraviesa el líquido bajo una determinada diferencia de potencial. Las unidades utilizadas en abastecimiento de agua son los $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que en agronomía se utilizan los dS/m . El factor de conversión es $1.000 \mu\text{S}/\text{cm} = 1 \text{dS}/\text{m}$. Las aguas potables (superficiales y subterráneas) suelen tener menos de $1.500 \mu\text{S}/\text{cm}$ y preferentemente menos de $1.000 \mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que el riego agrícola requiere unas formas de gestión especiales cuando la conductividad eléctrica (CE) excede los $3,0 \text{dS}/\text{m}$.

- 2.9 ¿Cuál es el principio operativo de una resina intercambiadora de iones? ¿Que dos tipos de resinas existen en el mercado? ¿Qué resinas se utilizan para el ablandamiento de un agua y qué procedimiento se utiliza para regenerarlas? ¿Cuál es la consecuencia ambiental de la utilización de este método de mejora de la calidad del agua? ¿Qué ventaja ambiental comparativa ofrece la utilización de membranas filtrantes para la separación física de esos iones?

La sustitución de los iones retenidos en la resina por otros de igual tipo de carga eléctrica y mayor valencia (carga eléctrica): los de mayor carga eléctrica desplazan a los de menor carga eléctrica, dentro de un intervalo de concentraciones similar. Las resinas catiónicas, que intercambian cationes, y las resinas aniónicas, que intercambian aniones. El ablandamiento de un agua consiste en retener cationes polivalentes y por tanto requiere una resina intercambiadora catiónica. Para ello la resina se prepara con todos sus puntos de intercambio ocupados por el ión sodio, de modo que los iones calcio y magnesio (principales causantes de la dureza) queden retenidos en la resina a cambio de la liberación de sodio. Una vez que estas resinas han agotado toda su capacidad de intercambio, al haber liberado todos los iones sodio, es necesario



regenerarlas: para ello es necesario someterlas a un flujo de salmuera (concentración elevada de cloruro sódico) de modo que el sodio desplace a los cationes polivalentes y los conduzca al desagüe de la instalación. En definitiva, la regeneración de estas resinas implica la utilización de cantidades apreciables de cloruro sódico (sal común) que terminan en los desagües de las instalaciones, en las aguas residuales y en los medios receptores de esas aguas (su depuración convencional no afecta a la concentración de sales disueltas). La utilización de membranas filtrantes como forma de rebajar o eliminar la dureza de un agua no requiere la utilización de salmuera: las sales se separan en la membrana, produciendo agua ablandada por una parte y un flujo con todas las sales retiradas del agua blanda, por otra; una vez utilizada el agua blanda en las tareas domésticas o industriales, se vierte al desagüe donde eventualmente se terminará mezclando con las aguas de rechazo, de modo que la masa de sales iniciales se mantiene prácticamente inalterada. Estos sistemas requieren energía eléctrica para realizar la separación de las sales mediante la membrana.

- 2.10 ¿Qué cuatro tipos básicos de membranas filtrantes se pueden utilizar actualmente y cuál es el tamaño máximo de moléculas/partículas que pueden retener? ¿Cuál es el principio físico responsable de la separación que realiza cada una de ellas? ¿Cómo se designan los flujos de entrada y de salida de agua y el factor de producción de la membrana? ¿Qué diferencia existe entre ablandar, desmineralizar y purificar un agua? ¿Cuál es el balance neto de sales disueltas de una membrana de ósmosis inversa en una aplicación doméstica?

Microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y ósmosis inversa; los tamaños de retención de estas membranas son aproximadamente de 0,1 μm , de 0,01 μm , de 1 nm y de 0,1 nm, respectivamente. El mecanismo de retención de partículas/moléculas en las membranas de microfiltración y de ultrafiltración es fundamentalmente el de tamizado: las partículas mayores quedan retenidas y las menores pasan por los poros de la membrana. El mecanismo de retención de las membranas de nanofiltración y de ósmosis inversa es la difusión de las moléculas a través del material de la membrana. El agua afluyente o agua de alimentación, el agua efluente o agua producto, y el agua de rechazo o salmuera. El factor de producción es el cociente entre el caudal de agua producto y el caudal de agua de alimentación. Ablandar es disminuir el contenido de cationes polivalentes (calcio y magnesio principalmente), desmineralizar es retirar sustancias minerales disueltas (sales minerales), y purificar es retirar sustancias tanto minerales como orgánicas, y tanto disueltas como en forma de partículas. Una membrana de ósmosis inversa separa las sales del agua: el agua desmineralizada se utiliza en la vivienda y se vierte al desagüe, donde se une al flujo de agua de rechazo o salmuera, de modo que no se produce ninguna aportación de sales exterior.

- 2.11 ¿Cómo se denominan los dos flujos de agua efluentes de un dispositivo de filtración con membranas de ósmosis inversa? ¿Qué requisitos energéticos tienen la ósmosis inversa aplicada a un agua marina? ¿Qué inversión económica implica normalmente un proceso de ósmosis inversa con agua marina, en euros/ m^3 de capacidad de producción anual? ¿Cuál es el período de tiempo aproximado para sustituir las membranas de uno de estos procesos?

Agua producto (agua dulce, agua osmotizada, agua desmineralizada, agua desalada) y salmuera (agua conteniendo las sales que hemos retirado del agua afluyente al producir el agua desmineralizada). La producción de agua dulce a partir de agua de mar requiere unos 4 kWh/ m^3 de agua producida. La inversión económica necesaria para producir agua marina a partir de agua de mar oscila entre 3 y 4 euros por m^3 de



capacidad de producción anual. El tiempo medio de renovación de las membranas actuales es de 5 años aproximadamente.

- 2.12 ¿Qué cuatro tipos básicos de membranas sintéticas se utilizan para la filtración de un agua y qué tamaño aproximado de poro tiene cada una de ellas? ¿Cuál es el proceso físico responsable de la separación de la materia en cada una de estas membranas? ¿En qué consiste el proceso de ósmosis inversa, cuál es el agente motor del proceso de separación y de qué característica principal del agua depende la intensidad de ese agente motor? ¿Cómo se denominan los flujos de entrada y de salida de un proceso de ósmosis inversa, y cómo se define el rendimiento del proceso? ¿Qué inversión unitaria y qué consumo energético unitario comporta la ósmosis inversa con agua de mar?

Membranas de microfiltración (tamaño de poro efectivo de $0,1 \mu\text{m}$), de ultrafiltración ($0,01 \mu\text{m}$), de nanofiltración (1 nm) y de ósmosis inversa (menor de 1 nm). El proceso responsable de la separación en las dos primeras es el tamizado físico, mientras que en las dos últimas es la difusión molecular/iónica a través del material de la membrana. En extraer el agua de una solución salina, venciendo la presión osmótica que esta disolución ejerce (tendencia termodinámica a diluirse con agua exterior), para lo que es necesario ejercer una presión superior a la presión osmótica; la presión osmótica depende fundamentalmente del contenido de sales de un agua: cuanto mayor es la salinidad de un agua, mayor es su presión osmótica. Agua de alimentación, agua producto y agua de rechazo (concentrado o salmuera); el rendimiento se define por el cociente entre el agua producida y el agua de alimentación, en tanto por ciento. La inversión unitaria oscila en torno a 4,0 euros por m^3 de capacidad anual, y el consumo energético entre 3,5 y 4,5 kWh/ m^3 .

- 2.13 ¿Cómo se define la dureza de un agua? ¿Qué elementos químicos principales la integran y cómo se explica que los demás tengan escasa significación práctica? ¿Qué dos tipos de unidades se utilizan para medirla y cuál es el factor de conversión entre ellas? ¿Qué dos efectos principales tiene la presencia de dureza en los conductos utilizados para transporte de agua y los dispositivos de producción de vapor? ¿Qué método analítico se utiliza para determinar la dureza de un agua, cómo se denomina la sustancia utilizada para ello y cuál es el proceso de funcionamiento del indicador del final de la valoración?

La propiedad físico-química de un agua que se manifiesta por la dificultad para hacer espuma con el jabón; también se define operativamente como la suma de cationes polivalentes presentes en un agua. Principalmente el calcio y el magnesio, pues los cationes trivalentes (hierro, aluminio) y de mayor carga suelen alcanzar concentraciones muy pequeñas en las aguas superficiales, debido a que sus sales son muy insolubles, precipitan y decantan hacia los fondos de las masas de agua. Se mide en eq/L y en mg CaCO_3/L ; el factor de conversión es $1 \text{ eq/L} = 50.000 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$. La precipitación de carbonatos de calcio, de magnesio, de hierro (principalmente) e incluso de sílice resulta en una disminución progresiva de la sección (aumenta el espesor de precipitado) y también en una disminución de la capacidad de transmisión de calor de los conductos (los carbonatos dificultan el paso del calor); este último efecto resulta en el sobrecalentamiento del conducto metálico y en su rotura eventual (con producción de explosión en caso de caldera de vapor, o de corto circuito, en caso de resistencias eléctricas). Un método volumétrico, mediante la adición de una sustancia "quelante" (secuestrante) llamada EDTA (ácido etil-diamida-tetracético). La adición de un indicador que reacciona con el magnesio presente en el agua confiere un color a la muestras antes del inicio de la valoración. La adición de EDTA resulta en el secuestro



de todo el calcio y el magnesio (incluso el asociado con el indicador); cuando el indicador pierde el magnesio, cambia de color, señalando la terminación del proceso de valoración volumétrica.

- 2.14 ¿Cómo se define la dureza de un agua? ¿Qué elementos químicos principales la integran y cómo se explica que los demás tengan escasa significación práctica? ¿Qué dos tipos de unidades se utilizan para medirla y cuál es el factor de conversión entre ellas? ¿Qué dos efectos principales tiene la presencia de dureza en los conductos utilizados para el transporte de agua y los dispositivos de producción de vapor? ¿Qué método analítico se utiliza para determinar la dureza de un agua, cómo se denomina la sustancia utilizada para ello y cuál es el proceso de funcionamiento del indicador del final de la valoración?

La dureza de un agua es una propiedad físico-química que se manifiesta por la dificultad para hacer espuma con el jabón natural, debida a la presencia de cationes polivalentes en el agua; se define algebraicamente como la suma de cationes polivalentes contenidos en un agua. Los principales elementos químicos determinante de la dureza son los cationes calcio y magnesio, debido a que los cationes trivalentes y de mayor valencia son todos ellos muy insolubles (forman sales muy insolubles con los aniones del agua) y suelen precipitar y sedimentar en las zonas inferiores de las masas de agua. Las unidades de medida son equivalentes químicos por litro (eq/L) y mg CaCO₃/L, con una equivalencia de 1 eq/L = 100 mg CaCO₃/L. La dureza del agua que circula por un conducto genera un precipitado progresivo de carbonatos, de calcio y otros cationes, cuya consecuencia más notable es la reducción de la sección disponible (perdida de capacidad y mayores pérdidas por rozamiento o pérdidas de carga); la deposición de CaCO₃ en las calderas de vapor se traduce en una menor conductancia térmica de las paredes (el carbonato de calcio y de otros cationes conduce muy mal el calor), cuya consecuencia más notable es el sobrecalentamiento de las mismas y su eventual rotura (explosión) por efecto de la presión del vapor producido en su interior. El método más básico es una volumetría, mediante la adición de una sustancia secuestrante o quelante, el ácido EDTA (etil-diamida-tetracético-ácido) que secuestra los cationes polivalentes del agua; el punto final se determina mediante un indicador coloreado: en presencia de pequeñas cantidades de magnesio (incorporadas con el propio indicador) el indicador tiene un determinado color y cuando el EDTA va secuestrando los cationes polivalentes, incluido el magnesio que venía con el indicador, el indicador cambia de color.

- 2.15 ¿Cómo se define la alcalinidad de un agua? ¿Qué especies químicas determinan la alcalinidad de las aguas continentales? ¿Cuáles son las dos expresiones algebraicas (equivalentes) de la alcalinidad de un agua? ¿Cuál es el proceso natural mediante el cual un agua adquiere su alcalinidad? ¿Qué dos unidades se utilizan para expresarla y cuál es el factor de conversión entre ellas? ¿Qué consecuencias tiene la adición de ácido carbónico y de ácido clorhídrico sobre la alcalinidad y el pH de un agua? ¿Cómo se explica la variación diurna del pH de un agua natural que contiene productores primarios y qué beneficios ambientales tiene?

La capacidad de un agua para mantener un pH estable ante las aportaciones de ácidos o bases. Las especies fundamentales son el ión bicarbonato (HCO₃⁻) y el ión carbonato (CO₃⁼) Las expresiones son:

$$\begin{aligned} & \sum cat \times [Cat^{+cat}] - \sum an \times [Ani^{+ani}] = \\ & = [HCO_3^-] + 2 \times [CO_3^{=}] + [OH^-] - [H^+] \end{aligned}$$



El agua adquiere su alcalinidad a partir del dióxido de carbono atmosférico que se disuelve de forma natural en el agua. El ácido promueve la disolución de los sustratos minerales sobre los que discurre el agua, favoreciendo su disolución y el enriquecimiento consecuente de los minerales del agua (mineralización); el ácido carbónico neutralizado durante este proceso es renovado de forma natural por nuevas cantidades de dióxido de carbono atmosférico que se incorporan al agua. Las unidades de medida son equivalentes por litro (eq/L) y mg CaCO₃/L; el factor de conversión es 1 eq/L = 50.000 mg CaCO₃/L. El ácido carbónico no altera la alcalinidad (no introduce ni cationes ni aniones), pero disminuye el pH. El ácido clorhídrico disminuye la alcalinidad (introduce el anión cloruro) y disminuye el pH. La realización de la función clorofílica durante las horas de sol hace que las plantas asimilen dióxido de carbono, que extraen del agua, haciendo que su pH ascienda hasta valores que pueden alcanzar 8,5 ó 9,0; durante la noche, la falta de función de función clorofílica y la presencia de respiración de las algas (con la consiguiente producción de dióxido de carbono) hace que la concentración de dióxido de carbono del agua aumente, y su pH disminuya hasta alcanzar valores inferiores a 7,0. Esta oscilación diurna y nocturna del pH tiene un notable efecto desinfectante sobre el agua, causado por este proceso natural.

- 2.16 ¿Cómo se define algebraicamente la alcalinidad de un agua y qué significado físico tiene esta propiedad de un agua? ¿Qué especies químicas determinan la alcalinidad de las aguas continentales y cual es el proceso natural por el que las adquieren? ¿Qué dos unidades se utilizan para expresarla y cuál es el factor de conversión entre ellas? ¿Qué consecuencias tiene la adición de ácido carbónico y de hidróxido sódico sobre la alcalinidad y el pH de un agua? ¿Qué sustancia se utiliza para valorar volumétricamente la alcalinidad de un agua y qué condiciones físicas y químicas determinan el punto final de la valoración?

La alcalinidad de un agua se define mediante los dos términos de la siguiente expresión algebraica.

$$\sum cat \times [Cat^{+cat}] - \sum an \times [Ani^{+ani}] = \\ = [HCO_3^-] + 2 \times [CO_3^{=}] + [OH^-] - [H^+]$$

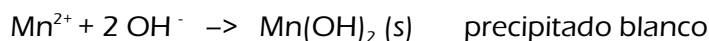
La alcalinidad de un agua es una medida de su capacidad para amortiguar (tamponar) las posibles variaciones de su pH cuando se le añaden ácidos o bases. Las dos especies principales son el ión bicarbonato (HCO₃⁻) y el ión carbonato (CO₃⁼); el proceso de incorporación y acumulación de estas especies químicas en un agua superficial se inicia con la disolución del dióxido de carbono en el agua de lluvia y la formación de ácido carbónico; el agua así acidificada discurre por la superficie de los suelos y las rocas, atacándolas y disolviendo sus componentes iónicos; este proceso resulta en la producción de bicarbonatos y carbonatos y en el consumo de ácido carbónico; no obstante, el dióxido de carbono de la atmósfera continúa disolviéndose en el agua, por acción de la ley de Henry, y propiciando la continuación del proceso de "mineralización" progresiva del agua: es por ello que las aguas próximas las desembocaduras de los ríos tienen un contenido mineral mucho mayor que el de las aguas próximas a su nacimiento. Las unidades de medida son equivalentes químicos por litro (eq/L) y mg CaCO₃/L, con una equivalencia de 1 eq/L = 100 mg CaCO₃/L. La adición de ácido carbónico no altera la alcalinidad (no aporta cationes o aniones del primer término de la expresión), pero disminuye el pH por la aportación de iones H⁺; la adición de hidróxido sódico aumenta la alcalinidad (aporta cationes en el primer término de la expresión) y sube el pH del agua (aporta iones OH⁻). La alcalinidad se



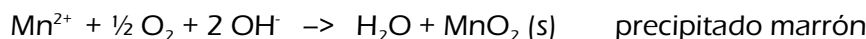
valora con un ácido (aporta aniones del primer término de la expresión); el punto final de la valoración (alcalinidad nula) viene fijado por un pH de 5,65, que es el que tiene un agua sin alcalinidad en equilibrio con la atmósfera circundante (asegurado mediante una agitación intensa de la muestra durante el proceso de valoración).

- 2.17 ¿Qué reacciones de oxidación-reducción rigen la "fijación" del oxígeno disuelto en un agua mediante el método de Winkler? ¿Qué efecto tiene sobre el resultado del análisis dejar la botella de Winkler abierta tras añadirle la solución básica? ¿Qué efecto tiene sobre el resultado del análisis dejar la botella de Winkler abierta tras añadirle el ácido sulfúrico? ¿Qué interferencia se trata de eliminar mediante la incorporación de la azida sódica? ¿Qué indicador se usa en la valoración final y qué cambio de color experimenta? ¿De qué parámetros de calidad del agua depende su concentración de oxígeno disuelto?

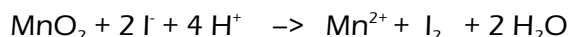
En ausencia de oxígeno disuelto, el ión manganeso añadido reacciona con el exceso de hidróxido presente en el agua formando hidróxido de manganeso que tiene color blanco:



En presencia de oxígeno disuelto, el ión manganeso reacciona con él, formando óxido de manganeso, que es un precipitado de color marrón:

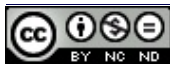


La adición de ácido hace que el dióxido de manganeso reaccione con el yoduro, formando yodo molecular:

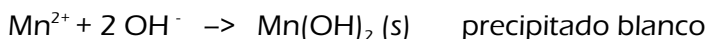


El oxígeno atmosférico tendría tendencia a entrar en la botella y, en condiciones básicas, reaccionaría con el ión manganeso presente en exceso, generando un exceso de dióxido de manganeso y produciendo una interferencia. El oxígeno atmosférico tendría tendencia a entrar en la botella, pero en condiciones ácidas no reaccionaría con el ión manganeso ni tampoco con el ión yoduro, por lo que no se produciría ninguna interferencia. Esto justifica que, en estas últimas condiciones, el contenido de la botella se pueda manipular sin preocuparse por la aireación de su contenido. La azida sódica trata de suprimir la interferencia de los nitritos. La valoración final se realiza utilizando almidón como indicador; el almidón pasa de color azul intenso, en presencia de yodo, a incoloro en ausencia de yodo. La concentración de oxígeno disuelto depende de la temperatura y de la salinidad del agua: cuando éstas aumentan aquella disminuye.

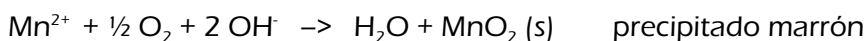
- 2.18 ¿Qué reacciones de oxidación-reducción intervienen en la "fijación" del oxígeno disuelto en un agua mediante el método de Winkler? ¿Cómo se explica que la manipulación del contenido de la botella de Winkler en contacto con la atmósfera, tras la adición del ácido sulfúrico, no produzca una interferencia en el proceso de análisis? ¿Qué indicador se usa en la valoración final y qué mecanismo determina el cambio de color experimentado por la muestra durante el proceso? ¿Qué dos parámetros de la calidad de un agua determinan la concentración de oxígeno disuelto de un agua y qué intervalo de valores aproximados alcanza éste en aguas continentales? ¿Qué objetivo tiene el diseño de cada uno de los siguiente elementos de la botella de Winkler: su forma, su tapón y su boca?



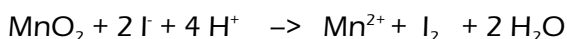
En ausencia de oxígeno disuelto, el ión manganeso añadido reacciona con el exceso de hidróxido presente en el agua formando hidróxido de manganeso que tiene color blanco:



En presencia de oxígeno disuelto, el ión manganeso reacciona con él, formando óxido de manganeso, que es un precipitado de color marrón:



La adición de ácido hace que el dióxido de manganeso reaccione con el yoduro, formando yodo molecular:



El contacto del contenido de la botella con la atmósfera propicia la entrada y disolución de oxígeno en la botella, pues su contenido es nulo en esos momentos; sin embargo, las condiciones ácidas del contenido impiden que el oxígeno reaccione con el manganeso o con el yoduro y por tanto no genera ninguna interferencia en el proceso de medida. El indicador es el almidón: en presencia de yodo la muestra adquiere un color azul marino intenso; tras la adición de tiosulfato y la reducción de todo el yodo en yoduro, el almidón cambia de color, pasando a ser totalmente incoloro. La concentración de oxígeno disuelto de un agua viene determinada principalmente por su temperatura y su salinidad; en condiciones propias de las aguas superficiales de ríos y embalses de nuestras latitudes, la concentración de oxígeno disuelto oscila entre 8 y 10 mg O₂/L. La forma de la botella de Winkler (los hombros redondeados) trata de promover la expulsión de las burbujas de aire cuando se rellena con agua; el tapón biselado trata de promover la expulsión de las burbujas de la superficie del agua; la boca en forma de cono invertido tiene como misión ofrecer un cierre hidráulico de la muestra, evitando la entrada o salida de oxígeno de la muestra contenida en la botella.

- 2.19 ¿Cómo se define la DBO de un agua? ¿Cuál es el agente oxidante y cuáles son las condiciones ambientales en que se realiza el ensayo? ¿Qué límites de oxígeno disuelto en la botella de incubación han de respetarse para que el ensayo sea aceptable? ¿Qué dos sustancias se utilizan para preparar la muestra patrón de este ensayo? ¿Por qué es necesario añadir inóculo a una muestra patrón?

Es un ensayo y un parámetro de calidad del agua que mide el grado y la velocidad a la que se puede oxidar biológicamente la materia orgánica contenida en un agua, expresados en términos de los miligramos de oxígeno por unidad de volumen empleados por los microorganismos para realizar esa oxidación. El agente oxidante lo constituyen los microorganismos presentes en el agua o añadidos con el inóculo. Las condiciones ambientales son: un volumen de agua de 250-300 mL en una botella de Winkler, 5 ó 7 días de incubación, 20°C de temperatura e incubación en la oscuridad. Un ensayo se considera aceptable cuando el oxígeno consumido para oxidar la muestra (en la botella de Winkler) ha sido igual o superior a 2 mg/L, y cuando el oxígeno residual es igual o superior a 1 mg/L. Las sustancias normalmente utilizadas son la glucosa y el ácido glutámico. Es imprescindible añadir inóculo a la disolución patrón, pues aporta los microorganismos necesarios para realizar la oxidación de los sustratos añadidos a la disolución, que se prepara de forma aséptica en el laboratorio (desprovista de microorganismos).



- 2.20 ¿A qué corresponden las siglas DBO y cómo se define la DBO de un agua? ¿Cuál es el agente oxidante, las condiciones del ensayo (temperatura, luminosidad) y su duración temporal? ¿Qué dos duraciones del ensayo se utilizan actualmente y qué circunstancias las han determinado? ¿Qué medio se utiliza para aportar el oxígeno necesario para la realización del ensayo? ¿Qué información específica de la muestra de agua aporta el valor numérico de la constante k que aparece en la expresión cinética de la DBO?

Demanda Bioquímica de Oxígeno, que se define como el contenido de materia orgánica biodegradable contenida en un agua, medida en términos del oxígeno disuelto ($\text{mg O}_2/\text{L}$) que necesitarán los microorganismos para llevar a cabo su oxidación en unas determinadas condiciones ambientales. El agente oxidante son los microorganismos (bacterias y hongos) presentes en el medio acuático, la temperatura es de 20°C , en la oscuridad (para evitar interferencias con el oxígeno que pueden producir las algas contenidas en la muestra analizada), durante un tiempo de 5 ó de 7 días, y utilizando preferentemente una botella de Winkler o similar. Las dos duraciones comúnmente utilizadas son: 5 días, en base a las estimaciones del siglo XX sobre el tiempo de recorrido del agua en el cauce del río Támesis, y el de 7 días, utilizado principalmente en los países nórdicos, en razón de las limitaciones de horarios laborales, que permiten iniciar un análisis cualquier día de la semana y completarlo el mismo día de la semana siguiente. El oxígeno necesario se aporta mediante el agua de dilución. La constante cinética " k " indica el contenido relativo de sustancias rápida y fácilmente biodegradables presentes en la muestra de agua analizada: cuanto mayor sea el valor de " k " mayor será la proporción de materia orgánica degradada en un período de tiempo determinado; esto significa que la demanda de oxígeno que comporta la oxidación de la materia orgánica de una muestra se ejercerá más rápidamente cuanto mayor sea el valor de " k ".

- 2.21 ¿A qué corresponden las siglas DBO y cómo se define la DBO de un agua? ¿Cuál es el agente oxidante, las condiciones del ensayo (temperatura, luminosidad) y su duración temporal? ¿Qué límites del oxígeno disuelto en la botella de incubación han de respetarse para que un ensayo pueda considerarse aceptable? ¿Cómo se aporta el oxígeno necesario para la realización del ensayo? ¿Qué criterio se sigue para la preparación del inóculo utilizado en un ensayo y qué tarea analítica adicional comporta la utilización de inóculo?

Demanda Bioquímica de Oxígeno: es un proceso para determinar la cantidad de materia degradable-oxidable-mineralizable y el grado en que ésta será degradada-oxidada-mineralizada por acción de los microorganismos en condiciones normalizadas, expresada en términos del oxígeno disuelto necesario para realizar tal proceso, en unidades de $\text{mg O}_2/\text{L}$. El agente oxidante son los microorganismo (el inóculo) que se encuentran en el agua (inicialmente o añadidos antes del ensayo), a temperatura de 20°C , en la oscuridad, y al cabo de 5 días. El ensayo normalizado requiere que el consumo mínimo de oxígeno sea de 2 mg/L y que el oxígeno disuelto final sea superior a 1 mg/L . El oxígeno necesario se aporta mediante el agua de dilución, que se añade a la botella de incubación (botella de Winkler) junto con un pequeño volumen de muestra y, si es necesario, de inóculo externo. El inóculo externo se debe preparar a partir de una muestra de agua tomada aguas abajo del punto en que normalmente se vierte el caudal del que hemos tomado la muestras para analizar; la utilización de un inóculo externo requiere realizar un ensayo de DBO paralelo al de la muestras, pero utilizando el inóculo como muestra desconocida, para determinar su contenido de materia orgánica y así poder aplicar la corrección correspondiente de la muestra que



se trata de analizar.

- 2.22 ¿A qué corresponden las siglas DBO y cómo se define la DBO de un agua? ¿Cuál es el agente oxidante, las condiciones del ensayo (temperatura, luminosidad) y su duración temporal? ¿Qué límites del oxígeno disuelto en la botella de incubación han de respetarse para que un ensayo pueda considerarse aceptable? ¿Cómo se aporta el oxígeno necesario para la realización del ensayo? ¿Qué información específica del contenido de la muestra de agua aporta el valor numérico de la constante k que aparece en la expresión cinética de la DBO?

Las siglas corresponden a la Demanda Bioquímica de Oxígeno, que se define como el contenido y la velocidad de oxidación de la materia orgánica oxidable biológicamente, en condiciones normalizadas de temperatura, luz y tiempo, expresada en términos del oxígeno consumido en ese proceso en unidades de $\text{mg O}_2/\text{L}$. El agente oxidante son los microorganismos introducidos con el inóculo o los presentes inicialmente en la propia muestra de agua; las condiciones controladas son: a 20°C , en la oscuridad (para evitar la interferencia del oxígeno producido por las algas) y durante 5 días (periodo normalizado) ó 7 días (en países nórdicos). Un ensayo aceptable requiere un consumo de oxígeno igual o superior a $2 \text{ mg O}_2/\text{L}$ y una concentración residual de oxígeno igual o superior a $1 \text{ mg O}_2/\text{L}$. El oxígeno necesario se aporta mediante el agua de dilución que se añade a la botella de incubación. La constante " k " es una medida del carácter fácilmente biodegradable de la materia orgánica contenida en la muestra: cuanto mayor es el valor de " k ", mayor es la fracción de materia orgánica fácilmente biodegradable de la muestra y más rápidamente se ejercerá el consumo de oxígeno (más rápidamente deberá aportarse el oxígeno en una instalación de depuración real).

- 2.23 ¿Cómo se define la DQO de un agua? ¿Cuál es el agente oxidante, las condiciones ambientales del ensayo y la duración del mismo? ¿Qué misión concreta tiene la adición de sulfato de mercurio, del ión plata y de las bolitas de vidrio o de piedra pómez? ¿Cómo se define el índice de biodegradabilidad de un agua? ¿En qué intervalo oscila en función de su expresión numérica y del tipo de parámetro biológico utilizado?

El contenido de materia orgánica que puede ser oxidado químicamente por un oxidante fuerte, en condiciones extremas de temperatura y de pH, expresado en términos del oxígeno disuelto equivalente, en $\text{mg O}_2/\text{L}$. El dicromato potásico, a pH ácido (50% de ácido sulfúrico), en presencia de catalizadores (ión plata), con secuestrante de cloruros (ión mercurio), a temperatura de ebullición y durante 2 horas. El mercurio secuestra los cloruros, el ión plata es un catalizador de la oxidación orgánica, las bolitas y/o la piedra pómez favorecen la ebullición tranquila. El cociente entre la DBO y la DQO, o el cociente inverso. La DBO puede ser la total (límite) o simplemente la correspondiente a 5 días. El cociente DQO/DBO oscila entre 1 e infinito, mientras que la DQO/DBO_5 oscila entre 1,4 e infinito. Valores superiores a 4,0 aproximadamente de este último cociente indican la presencia de un predominio de aguas industriales.

- 2.24 ¿A qué corresponden las siglas DQO y cómo se define la DQO de un agua? ¿Cuáles son el agente oxidante, las condiciones del ensayo (temperatura, pH, catalizadores) y su duración temporal? ¿Cómo se define usualmente el índice de biodegradabilidad de un agua? ¿Qué intervalo de valores puede tener y qué valor suele utilizarse para diferenciar las aguas residuales urbanas de las industriales? ¿Cómo se explica que la DQO de un agua pueda ser mayor que su DBO?



Demanda Química de Oxígeno; un ensayo químico que permite determinar el contenido de materia orgánica mineralizable de un agua, mediante un oxidante en condiciones extrema de acidez, temperatura y catalizadores, al cabo de 2 horas, y expresado en términos del oxígeno disuelto equivalente, en $\text{mg O}_2/\text{L}$. El agente oxidante es el dicromato potásico (algunos países utilizan el permanganato, que es menos intenso), a temperatura de ebullición, a pH bajo (50% de contenido de ácido sulfúrico), y en presencia de ión plata como catalizador, al cabo de 2 horas de ebullición. El índice de biodegradabilidad es un cociente entre la Demanda Bioquímica de Oxígeno y la Demanda Química de Oxígeno, en diferentes formas. La más frecuente es la Demanda Química de Oxígeno dividida por la Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días. En este caso, el intervalo de valores es de aproximadamente 1,4 hasta infinito. Valores de este índice superiores a 4,0 suelen considerarse asociados a muestras de agua de origen industrial (frente a valores más bajos para las aguas urbanas y domésticas). La presencia de materia orgánica no biodegradable hace que la DQO sea superior a la DBO.





3. GESTIÓN AMBIENTAL

- 3.1 ¿Qué tres criterios básicos deben cumplir los recipientes utilizados para el muestreo de un agua, con objeto de no alterar su calidad? ¿Qué dos criterios básicos de conservación suelen adoptarse para preservar una muestra durante su transporte al laboratorio? ¿Qué precaución suele adoptarse con el tapón de una botella de vidrio esterilizada y por qué? ¿Qué objetivo tiene y qué reactivo se incorpora en una botella de muestreo para análisis microbiológico, cuando el agua contiene cloro como desinfectante? ¿Cuáles son la fase inicial y la final de un proceso de evaluación de la calidad de un agua y qué misión básica tiene cada una de ellas?

El recipiente no debe aportar sustancias a la muestra, no debe retener sustancias de la muestra y no debe permitir el paso de sustancia a través de las paredes o de la boca del recipiente. Refrigerarla en una nevera portátil y mantenerla en la oscuridad. Colocar una tirita de papel para asegurar que el aire de la botella queda en equilibrio con el exterior, y la botella no queda con una presión negativa, al enfriarse después de su esterilización a más de 100°C. Se añade un oxidante (tiosulfato sódico) para destruir el cloro que puede contener la muestra, evitando así que el desinfectante siga actuando sobre los microorganismos que pueda haber en la muestra, durante el tiempo transcurrido desde el muestreo hasta el análisis. El proceso se inicia con la toma de muestras en el medio ambiente (el objetivo es tomar una porción representativa) y termina con un informe razonado, donde se interpreta la situación del medio en relación con los objetivos del proceso de evaluación que se ha realizado.

- 3.2 ¿Cómo se define un criterio de calidad de un agua? ¿Qué tres facetas se utilizan para clasificar las normas de calidad de un agua? ¿Cómo se definen la velocidad de emisión másica y la velocidad de emisión másica unitaria de un vertido? ¿Cuál de ellas tiene relevancia en la protección ambiental y por qué? ¿Cómo están relacionadas numéricamente entre sí? ¿Cómo define la Directiva europea un habitante equivalente? ¿Qué tipo de velocidad de emisión másica es?

Criterio de calidad: relación o condición científica en la que poder basar un juicio sobre la idoneidad de la calidad de un agua para un uso determinado. Norma de calidad: valor establecido por la autoridad competente para proteger/promover la calidad de un agua para un uso determinado. Las facetas: 1) el ámbito de aplicación de la norma (internacional, nacional, autonómico, municipal), 2) la masa de agua a la que hace referencia (agua efluente o agua receptora) y 3) la unidad de medida (concentración, velocidad de emisión). Velocidad de emisión másica (VEM): masa vertida por unidad de tiempo. Velocidad de emisión másica unitaria (VEMU): masa vertida por unidad de producto elaborado. La VEM es la que tiene significación ambiental, en cuando que valora la masa de sustancia que llegará al medio receptor; por el contrario, la VEMU es una medida de la capacidad contaminante específica de la actividad considerada. La VEM es igual a la VEMU multiplicada por al número de productos elaborados por unida de tiempo (una medida de la producción industrial o urbana considerada). La Directiva europea 91/271 establece una equivalencia de 1 hab-eq = 65 g de DBO₅/día. El hab-eq es una velocidad de emisión másica: la masa de materia orgánica vertida diariamente que corresponde con la actividad de una persona.

- 3.3 ¿Cómo se define un criterio de calidad de un agua? ¿Cómo se define una norma de calidad del agua? ¿Qué tres facetas de una norma se utilizan para clasificar las normas de calidad de un agua? ¿Cómo se definen la velocidad de emisión másica



y la velocidad de emisión másica unitaria de una sustancia? ¿Qué tipo de velocidad de emisión es y cómo se define habitante-equivalente? ¿Qué valor le asigna la Directiva europea 91/271 relativa a la depuración de aguas? ¿Cómo se determina la población equivalente de un vertido?

Criterio de calidad: relación o condición científica en la que poder basar un juicio sobre la idoneidad de la calidad de un agua para un uso determinado. Norma de calidad: valor establecido por la autoridad competente para proteger/promover la calidad de un agua para un uso determinado. Las facetas: 1) el ámbito de aplicación de la norma (internacional, nacional, autonómico, municipal), 2) la masa de agua a la que hace referencia (límites de vertido para un agua efluente o normas u objetivos de calidad ambiental para un agua receptora) y 3) la unidad de medida (concentración, velocidad de emisión). Velocidad de emisión másica (VEM): masa vertida por unidad de tiempo. Velocidad de emisión másica unitaria (VEMU): masa vertida por unidad de producto elaborado. Un hab-eq es una velocidad de emisión másica, que se define como la masa de materia orgánica (expresada como DBO_5) generada diariamente que equivale a la actividad de una persona. La Directiva europea 91/271 establece $1 \text{ hab-eq} = 65 \text{ g de } \text{DBO}_5/\text{día}$. Dividiendo la masa total de DBO_5 vertida diariamente por el valor de un hab-eq.

3.4 ¿Cómo se define una muestra puntual, una muestra compuesta y una muestra integrada? ¿Cómo se definen la velocidad de emisión másica y la velocidad de emisión másica unitaria de una sustancia? ¿Qué tipo de parámetro es un hab-eq y cuál es el valor numérico establecido por la Directiva europea 91/271 en términos de DBO_5 ? ¿Cómo se define un criterio de calidad de un agua?

Una muestra puntual es la recogida en un punto determinado en un instante determinado. La muestra compuesta es la obtenida en un punto determinado a lo largo de un período de tiempo determinado, generalmente horas o días. La muestra integrada es la obtenida en un instante determinado pero en diversos puntos de muestreo. Velocidad de emisión másica (VEM) es la masa de sustancia vertida por unidad de tiempo. Velocidad de emisión másica unitaria (VEMU) es la masa de sustancia vertida por unidad de producto elaborado. Un hab-eq es una velocidad de emisión másica. Su valor en la Directiva europea 91/271 es de $65 \text{ g } \text{DBO}_5/\text{día}$. Un criterio de calidad es una relación o función científica sobre la que poder basarse para emitir un juicio sobre la idoneidad de la calidad de un agua para un uso determinado.

3.5 ¿Cómo se definen acción ambiental, efecto ambiental e impacto ambiental? ¿Cuál es la restricción reglamentaria más frecuente que se aplica a la definición de acción ambiental? ¿Cuál es la acción considerada por los estudios clásicos como acción de referencia para determinar el impacto de una actuación? ¿Qué cuatro objetivos principales tiene un estudio de impacto ambiental? ¿De qué cuatro metodologías se dispone actualmente para realizar un estudio de impacto ambiental?

Acción ambiental: cualquier proyecto constructivo o proposición legal o reglamentaria que puede tener consecuencias ambientales. Efecto ambiental: la consecuencia futura de la realización de una acción, y también la consecuencia ambiental de la falta de aplicación de esa misma acción. Impacto ambiental: diferencia de efectos ambientales futuros resultantes de la aplicación de una acción y de la omisión de esa misma acción. La referencia clásica es la situación futura que se alcanzaría en ausencia de la acción ambiental propuesta (no acción). Los objetivos son: identificar y predecir los posibles impactos, e interpretar y comunicar la información relativa a los mismos. Las



metodologías disponibles: 1) la matriz de Leopold, 2) el método de las superposiciones, 3) el método de Batelle y 4) el modelo descriptivo del proceso o sistema que se estudia.

- 3.6 ¿Cuáles son las dos propiedades determinantes de la densidad de un agua? ¿Cuál es el perfil de temperatura típico de la estratificación térmica en las aguas costeras y lacustres durante la época estival en nuestras latitudes? ¿Qué gradiente de temperatura determina la existencia de una termoclina? ¿Cuál es el proceso responsable del agotamiento del oxígeno disuelto en el hipolimnion de las aguas eutróficas durante el verano? ¿Qué efecto tiene sobre los fosfatos presentes en el sedimento y posteriormente en la eutrofización del agua superficial?

Su temperatura y su salinidad (contenido de sales). La temperatura es uniforme y relativamente elevada en las capas superiores (20 a 25°C), a continuación experimenta un descenso marcado con la profundidad hasta valores inferiores (10 a 15°C), en los que se mantiene de forma relativamente uniforme durante el resto de la profundidad. La termoclina o metalimnion es la franja de profundidad en que el gradiente supera un 1°C de variación por metro de desplazamiento vertical. La mineralización microbiana de la materia orgánica acumulada en los sedimentos ocasiona un agotamiento progresivo del oxígeno en las masas de agua situadas encima de los sedimentos. La circunstancia de que el hipolimnion se encuentre aislado físicamente de la parte superior y superficial de la masa de agua (el epilimnion), impide la recarga de oxígeno, lo que provoca su total agotamiento en las capas inferiores. La consecuencia es la creación de condiciones anaerobias, que propician la liberación de los fosfatos previamente precipitados. Estos fosfatos re-disueltos serán recirculados hasta la superficie del lago durante la fase de mezcla (rotura de la estratificación), propiciando el crecimiento incontrolado e intenso de productores primarios (eutrofización).

- 3.7 ¿Cuál es la temperatura a la que el agua alcanza su mayor densidad? ¿Cuál es el perfil de temperatura típico de la estratificación térmica en época estival en nuestras latitudes? ¿Cuál es el gradiente de temperatura mínimo para que exista una termoclina? ¿Cuál es el mecanismo responsable del agotamiento del oxígeno disuelto en el hipolimnion de las aguas eutróficas durante el verano? ¿Por qué no ocurre este mismo proceso en las aguas oligotróficas?

A 4°C. El epilimnion tendrá una temperatura elevada, la termoclina registrará una notable variación entre el epilimnion y el hipolimnion, y éste registrará una temperatura inferior. La termoclina o metalimnion es la franja de agua en que el gradiente de temperatura es igual o superior a 1°C/m. La termoclina limita el intercambio de oxígeno entre el epilimnion y el hipolimnion, haciendo que la degradación bacteriana de la MO acumulada en el fondo (las algas y restos de materia orgánica que sedimenta progresivamente) llegue a agotar el OD del hipolimnion. Porque no contienen cantidades apreciables de MO (no hay cantidades apreciables de algas que crecen, mueren y sedimentan) y por tanto el consumo de oxígeno no llega a agotar los niveles de OD del hipolimnion, que se mantienen estables; todo ello se manifiesta por un color claro del sedimento, en contraste con el color oscuro típico de los sedimentos anóxicos.

- 3.8 ¿En qué consiste la eutrofización de un agua? ¿Cuál es el principal nutriente implicado? ¿Cómo se generan los malos olores en un agua eutrófica? ¿Cuál es el factor responsable de la resolubilización de los fosfatos en los sedimentos de las aguas eutróficas? ¿Qué estrategia preventiva y qué estrategia correctora pueden adoptarse para controlar la eutrofización?



Un aumento progresivo/acelerado del contenido de elementos nutritivos que se manifiesta por un crecimiento desmesurado (incontrolado por otros predadores de la cadena trófica) de productores primarios. Tanto el fósforo P (el más limitante, en cuanto no tiene fase gaseosa) como el nitrógeno (en sus diversas formas disueltas). La presencia de cantidades importantes de algas hacen que la transparencia del agua disminuya, impidiendo que la luz penetre más allá de los 1-2 m superiores del agua; las bacterias agotan el oxígeno disuelto de las aguas profundas, propiciando el desarrollo de un metabolismo anaerobio que genera compuestos malolientes, como el ácido sulfhídrico; esta falta de oxígeno genera condiciones reductoras que propician la conversión del hierro férrico (precipitado con el ortofosfato) en hierro ferroso, con la consecuente redisolución del ortofosfato. La disminución de los vertidos, especialmente de los nutrientes limitantes del crecimiento, como suele ser el fósforo, la adición de coagulantes, la rotura mecánica de la termoclina o la aireación forzada del hipolimnion.

- 3.9 ¿Qué mecanismo provoca la estratificación de una masa de agua? ¿Cómo se denominan y cuál es la posición relativa de las zonas así establecidas? ¿Cómo se define numéricamente la capa intermedia? ¿En qué consiste la eutrofización de un agua y cómo se manifiesta? ¿Qué efecto sinérgico tiene la estratificación de un agua sobre el proceso de eutrofización? ¿Qué opciones técnicas pueden adoptarse para evitar la estratificación de un agua?

La diferencia de densidad del agua, generalmente provocada por las diferencias de temperatura, pero también por diferencias de contenido salino del agua. La capa superior: epilimnion, la intermedia: termoclina, metalimnion, o capa de discontinuidad, y la inferior: hipolimnion. La termoclina o metalimnion se define como aquella franja vertical del agua en que el gradiente de temperatura es igual o superior a $1^\circ\text{C}/\text{m}$. La eutrofización es el aumento progresivo del contenido de nutrientes de un agua, que se manifiesta por un crecimiento intenso de productores primarios. Cuando esa eutrofización es rápida (antropogénica, generalmente) el crecimiento de productores primarios es de carácter incontrolado. La estratificación amplifica las consecuencias de la eutrofización: durante la estratificación, las aguas del hipolimnion se enriquecen de nutrientes desde los sedimentos, especialmente de fosfatos; cuando la estratificación se rompe, esas aguas ricas en nutrientes suben a la superficie, provocando episodios de intensa eutrofización, con florecimientos de algas bruscos e intensos. La estratificación puede evitarse mediante la mezcla forzada de las capas de agua, de forma mecánica, con agitadores sumergidos en la zona de la termoclina, o mediante la introducción de burbujas de aire en el hipolimnion que, además de airear las aguas profundas, contribuyan a romper la estratificación.

- 3.10 ¿Cómo se define el proceso de eutrofización de un agua y cómo se manifiesta usualmente en la práctica? ¿Cómo se define el estado inicial y el estado final de ese proceso? ¿Qué dos elementos nutritivos suelen ser los factores limitantes del proceso de eutrofización y cuales son las fuentes principales de cada uno de ellos? ¿Cuál de esos dos elementos carece de formas en estado gaseoso y cual es la forma gaseosa del otro que puede ser utilizada por los productores primarios? ¿Cómo se explica el efecto de la estratificación en la aparición de episodios de eutrofización intensa de un lago?

El aumento progresivo de nutrientes (principalmente nitrógeno y fósforo) que se manifiesta por un crecimiento incontrolado de productores primarios (color verde del agua, deterioro del equilibrio de oxígeno disuelto). Estado oligotrófico, cuando escasean los nutrientes, y estado eutrófico cuando abundan los nutrientes. El nitrógeno y el fósforo: el nitrógeno en formas de nitrógeno amoniacal (orgánico e inorgánico) y



de nitratos, y el fósforo en formas de fósforo en partículas, polifosfatos y ortofosfatos. El fósforo carece de formas gaseosas, mientras que el nitrógeno existe en forma de nitrógeno gas (79% en la atmósfera): hay productores primarios que pueden asimilar el nitrógeno gas y por tanto no dependen de las aportaciones de nitrógeno disuelto en forma reducida (amoníaco) u oxidada (nitratos). La estratificación de una masa de agua propicia el desarrollo de condiciones anaerobias en el fondo (especialmente si hay acumulación de materia orgánica); esas condiciones anaerobias propician la redisolución de los ortofosfatos precipitados; cuando se rompe la estratificación, las masas de agua profundas, cargadas de ortofosfatos, son arrastradas a la superficie, creando así condiciones muy propicias para el desarrollo rápido e incontrolado de productores primarios (episodio de eutrofización).

- 3.11 ¿Qué dos limitaciones interpretativas tienen los análisis químicos individuales y puntuales de un agua? ¿Qué ventaja ofrece un sistema de vigilancia basado en un índice de calidad química? ¿Qué parámetros de calidad intervienen en el Índice Simplificado de la Calidad del Agua? ¿Qué dos ventajas posibles ofrecen los sistemas de vigilancia de la calidad del agua basados en la respuesta de seres vivos, como los macro-invertebrados o los peces?

Los análisis químicos tienen la limitación de representar el estado del agua en un instante y en una masa de agua determinada (la que circula en ese momento, por ejemplo) y no permiten valorar el efecto acumulativo de otras sustancias y de todas ellas a lo largo de un cierto periodo de tiempo. Un índice de calidad permite mejorar la valoración conjunta de diversos parámetros de calidad, permitiendo una interpretación más equilibrada que la aportada por una lista de parámetros independientes. El ISQA tiene una expresión aritmética de $T(A+B+C+D)$ donde cada una de esas letras representa una ponderación numérica (mediante unas gráficas empíricas) de la temperatura, la materia orgánica (DBO, DQO, o COD), la materia en suspensión, el oxígeno disuelto y la conductividad eléctrica del agua. La utilización de seres vivos permite: 1) detectar en tiempo real los efectos de la calidad sobre los seres vivos y 2) incorporar los posibles efectos producidos (acumulados en el tiempo) por uno o varios contaminantes actuando simultáneamente, así como el efecto acumulativo de esos contaminantes a lo largo del tiempo sobre los seres vivos utilizados como indicadores.

- 3.12 ¿Qué objetivo tiene elaborar un índice de calidad a partir de valores independientes de diversos parámetros de calidad de un agua? ¿Qué tipos de parámetros se han venido incluyendo hasta ahora y qué tipos de parámetros han de incluirse de acuerdo con la exigencia de la Directiva Marco? ¿Qué expresión utiliza la Directiva Marco para designar el objetivo final de la calidad de un ecosistema? ¿Qué parámetros de calidad del agua incluye el ISQA utilizado en Cataluña? ¿Por qué razón se tiende a utilizar la diversidad biológica de un ecosistema como indicador de su estado y qué tendencia manifiesta la diversidad a medida que el ecosistema evoluciona favorablemente?

El objetivo es sintetizar en un único valor toda la información (diversa, heterogénea) aportada por los diferentes parámetros, de manera que sea más sencillo la interpretación absoluta y relativa de la calidad que se trata de valorar. Los parámetros más utilizados han sido de tipo físico-químicos, e incluso de tipo microbiológico; la reglamentación actual exige la incorporación de parámetros de calidad biológica, especialmente para valorar la abundancia y la diversidad de seres vivos macroscópicos. La Directiva Marco establece el objetivo de “el buen estado ecológico de las masas de agua”. El ISQA incluye la temperatura, el contenido de materia orgánica, la materia en



suspensión, el oxígeno disuelto y la conductividad eléctrica. La diversidad biológica es una manifestación de la existencia de condiciones de vida favorables, sin restricciones (abundancia excesiva de ciertas sustancias, presencia de sustancias inhibidoras o tóxicas) que solo pueden ser superadas por unos pocos tipos de seres vivos (poca diversidad); la evolución favorable de un ecosistema se traduce en un aumento o mantenimiento de la diversidad; además la diversidad aporta una mayor estabilidad al ecosistema, en cuanto lo hace más resistente a posibles impactos externos que puedan afectar a una parte o a un grupo de seres vivos.

- 3.13 ¿Cómo se definen contaminantes primarios y contaminantes secundarios de la atmósfera? ¿Qué dos tipos básicos de episodios de contaminación pueden registrarse en una atmósfera urbana? ¿Cuáles son los dos contaminantes primarios principales de cada una de ellas y qué factor ambiental cataliza en cada caso su transformación en otras sustancias? ¿Cuáles son dos de los contaminantes secundarios más característicos de estos dos tipos de episodios? ¿Qué color adquiere la atmósfera en ambos casos y cuál es elemento físico-químico responsable?

Primarios: emitidos directamente a la atmósfera desde las fuentes de contaminación. Secundarios: formados por reacciones físico-químicas en la atmósfera a partir de los primarios emitidos previamente. Smog sulfuroso y smog fotoquímico. Los contaminantes primarios del smog sulfuroso son SO_2 , CO, CO_2 (la humedad y las partículas actúan de catalizadores) y los del smog fotoquímico son NO, HC (la radiación solar actúa de catalizador). Los contaminantes secundarios del smog sulfuroso son SO_3 y H_2SO_4 , y los del smog fotoquímico son NO_2 y O_3 . La atmósfera adquiere un color negruzco a gris en el primer caso, a causa del hollín (partículas de la combustión) y marronoso en el segundo debido al color marrón de los óxidos de nitrógeno NO_x .

- 3.14 ¿Cómo puede definirse contaminación de una masa de aire y qué connotación especial implica la palabra inglesa "pollution" (polución)? ¿Cómo se definen contaminantes primarios y contaminantes secundarios? ¿Qué origen etimológico tiene la palabra "smog" y qué dos factores principales contribuyen a la generación de un episodio de smog atmosférico? ¿Cómo se explica que el smog sulfuroso promueva un ambiente reductor y el smog fotoquímico promueva un ambiente oxidante? ¿Qué es una inversión atmosférica y qué dos tipos principales de inversión se suelen registrar en zonas urbanas?

La modificación significativa de la composición media de una masa de aire, por causas naturales o antropogénicas; cuando esa modificación es tiene efectos desfavorables sobre la población o el medio ambiente, se dice que existe polución; el hecho de tenga causas antropogénicas también contribuye a que sea considerada como "polución". Contaminantes primarios son los emitidos directamente por las fuentes de contaminación, y contaminantes secundarios los producidos en la atmósfera por modificación de los primarios (reacciones entre ellos, o con otros elementos del aire, bajo el efecto de la energía solar o la humedad ambiente). Smog es la yuxtaposición de "smog" que significa humo, y de "fog" que significa humedad; los episodios de contaminación se generan por una aportación excesiva de contaminantes y por una estabilidad atmosférica que impide su dilución y favorece su acumulación por encima de unos límites que los hacen perjudiciales, desfavorables o con características adversas. El smog sulfuroso tiene carácter reductor porque el anhídrido sulfuroso tiene tendencia a consumir oxígeno para convertirse en anhídrido sulfúrico, que posteriormente se une al agua para formar ácido sulfúrico. El smog fotoquímico genera ozono como contaminante secundario, que es un compuesto de gran capacidad oxidante.



Una inversión térmica es una modificación del perfil de temperatura atmosférico, de modo que la temperatura aumenta con la altura, al contrario de lo que ocurre en condiciones de estabilidad adiabática. Las inversiones atmosféricas más frecuentes en zonas urbanas son la inversión radiacional (pérdida de calor del suelo por radiación) y la inversión convectiva (arrastre de aire caliente sobre una masa inferior de aire frío, generalmente propiciado por la presencia de elevaciones topográficas)

- 3.15 ¿Cómo se define el sonido? ¿Cómo se define técnicamente el ruido? Cita tres de los cinco parámetros característicos del sonido? ¿Qué valores tienen el umbral auditivo y el umbral de dolor humanos? ¿Cuál es la expresión del nivel de presión L_p de un sonido y en qué unidades se mide? ¿Qué niveles de presión se registran en un dormitorio y en medio del tráfico urbano medio? ¿Cómo se explica que los niveles de presión de dos fuentes de ruido no puedan sumarse directamente y cómo se realiza esta adición?

Sonido es una variación de la presión atmosférica que puede ser detectada por el oído humano. El ruido es una mezcla de sonidos, con frecuencias diferentes, que produce una sensación auditiva molesta y que puede tener efectos negativos para las personas y los ecosistemas. Los parámetros básicos del sonido son: 1) la amplitud, en unidades de presión, 2) la longitud de onda, en nanómetros, 3) el período, en unidades de tiempo, 4) la frecuencia, en unidades de ciclos por unidad de tiempo y 5) la velocidad de transmisión, en metros por segundo. La expresión utilizada es:

$$L_p = 20 \text{ Log}_{10} \frac{p}{p_0}$$

donde L_p se mide en decibelios (dB), p es la presión registrada en μPa , y p_0 es la presión de referencia, de $20 \mu\text{Pa}$, correspondiente al umbral auditivo humano. El umbral de dolor humano se sitúa en torno a los $140 \mu\text{Pa}$. Los niveles de presión de dos fuentes diferentes no pueden sumarse directamente pues son el resultado de una transformación logarítmica previa. Para tener en cuenta esta circunstancia, se utiliza normalmente una tabla. A medida que la diferencia en dB aumenta, el valor de la presión menor pierde relevancia respecto a la mayor. Cuando la diferencia es igual o superior a 10 dB, la menor presión no influye en la suma del nivel de presión resultante.

- 3.16 ¿Cuáles son las cuatro estrategias básicas de un sistema de gestión de residuos y en qué consiste cada una de ellas? ¿Qué dos beneficios básicos tienen la recogida selectiva? ¿Qué dos posibles estrategias pueden aplicarse para implantarla? ¿Qué dos objetivos básicos tiene un vertedero controlado? ¿En qué consiste el compostaje de un residuo? ¿Qué requisitos e ingredientes básicos requiere el compostaje?

1) reducir la incorporación de materias primas en los ciclos productivos (menos contenido y menos desperdicios), 2) reutilizar ciertos materiales en diversas ocasiones (como las botellas o cajas para transportar un determinado líquido o producto), 3) reciclar los materiales constitutivos del residuo para producir nuevos productos (el vidrio roto utilizado para fabricar nuevas botellas) y 4) recuperar la energía o sustancias contenidas en el residuo final (mediante la combustión o el compostaje). La recogida selectiva permite recuperar materias primas y prolongar la vida útil de los vertederos controlados, evitando que sean ocupados por los residuos recuperados. La recogida centralizada (estaciones de separación) y descentralizada (por los propios usuarios utilizando los contenedores y las deixalleries). Compactar y confinar los residuos, para que puedan ser mineralizados en condiciones controladas, sin deteriorar el medio



ambiente. La mineralización aerobia mediante bacterias y hongos utilizando medios sencillos: volteo/agitación, medio de soporte (porosidad) aireación y posible aportación de nutrientes y humedad.

- 3.17 ¿Cuáles son las cuatro “R” de la gestión de los residuos sólidos urbanos y en qué consiste cada una de estas estrategias? ¿Cuál es la tasa aproximada de residuos sólidos urbanos generada por habitante y día en el área metropolitana de Barcelona? ¿Qué cinco tipos de residuos suelen recogerse en los municipios del área metropolitana de Barcelona? ¿Qué dos estrategias pueden adoptarse para implantar la recogida selectiva sobre un territorio? ¿Qué objetivo tiene y de qué elementos consta una deixallería, un punto verde o un centro ecológico?

Reducción de la producción de residuos (también denominada minimización de residuos en el proceso de producción), Reutilización (utilización del producto para el mismo uso inicial), Reciclado (utilización de la materia prima contenida en el residuo para fabricar un producto similar al inicial) y Recuperación (obtención de la energía o la materia prima del residuo para otros usos diferentes del inicial). En torno a 1,5 kg/hab-día. Papel, plástico y metales, vidrio, residuos generales y materia orgánica. La recogida selectiva por parte del ciudadano/usuario individual, depositando el material en contenedores diferentes, y la separación de materiales en centros especializados, mediante personal y equipos técnicos. Una deixallería es un recinto controlado adonde los ciudadanos pueden acceder para depositar los residuos de forma separada y clasificada, de modo que puedan ser posteriormente enviados para su reciclado o recuperación en otras instalaciones o procesos industriales.

- 3.18 ¿Qué tres objetivos básicos tiene un vertedero controlado? ¿Cómo se generan, cómo se recogen y qué contienen los lixiviados de un vertedero controlado? ¿Qué objetivos tiene la recogida selectiva de los residuos? ¿Qué categorías de residuos se recogen selectivamente en nuestros municipios? ¿Qué misión tiene una estación de transferencia y qué diferencia sustancial tienen los camiones que aportan y los que retiran los residuos de una de estas estaciones?

Confinar, compactar y mineralizar la materia orgánica contenida en los residuos. Se generan por acción de la lluvia que cae sobre el vertedero, además de los líquidos que escurren tras la compactación de los residuos depositados en el vertedero; se recogen mediante una red de drenaje que debe instalarse en el fondo del vertedero; los lixiviados contienen toda el agua y la materia disuelta extraída por compactación de los residuos. La recogida selectiva permite recuperar las materias primas para su reutilización posterior, además de reducir la cantidad de materia depositada en el vertedero, prolongando así su vida útil. El papel, el plástico, el vidrio, la basura general, la materia orgánica y todo tipo de residuos diversos que se centralizan en la deixallería (o punto verde). La estación de transferencia permite optimizar el transporte de los residuos, desde su recogida en las calles de la ciudad hasta su colocación en el vertedero: los camiones que recogen los residuos en las calles están dotados de dispositivos para descargar (por volteo) los contenedores urbanos y comprimir los residuos, mientras que los camiones que salen de las estaciones de transferencia son simplemente grandes contenedores, donde se colocan los residuos por medios mecánicos existentes en las estaciones de transferencia, y que sirven para transportar los residuos desde la central hasta el siguiente punto de disposición: el vertedero, la estación de compostaje, o la instalación de reciclado o reutilización.

- 3.19 ¿Qué tres objetivos principales tiene un vertedero de residuos sólidos? ¿Qué tipo de reacciones biológicas tienen lugar en la materia orgánica depositada en un



vertedero y cuáles son los principales gases generados por ellas? ¿Cómo deben recuperarse estos gases y qué interés práctico tienen? ¿Qué son los lixiviados de un vertedero y cómo se asegura su recuperación y tratamiento adecuado? ¿En qué consiste la clausura de un vertedero y qué precauciones conviene adoptar durante la gestión de la superficie así generada?

Confinar, compactar y mineralizar los residuos. Reacciones de digestión anaerobia y de fermentación, que generan dióxido de carbono, nitrógeno, metano y ácido sulfhídrico. Estos gases se deben recuperar mediante dispositivos de especial porosidad que desembocan en chimeneas de material granular implantadas en el cuerpo del vertedero; la aplicación de una mínima succión permite recuperar estos gases, especialmente el metano, para ser utilizados como fuente de energía. El metano puede utilizarse para impulsar motores de combustión interna, que unidos a un generador eléctrico producen electricidad; por otra parte la combustión del metano permite eliminar un gas de efecto invernadero que tiene un potencial de calentamiento casi 20 veces superior al del dióxido de carbono. Los lixiviados son los líquidos recogidos en el fondo de un vertedero, resultado de la mineralización y compactación de la materia orgánica depositada en el vertedero; se recuperan mediante un sistema de drenaje colocado en el fondo del vertedero, sobre una capa de material impermeable, que impide que los lixiviados pueden percolar por las capas del suelo inferiores. Los lixiviados así recogidos se depuran en instalaciones específicas. La clausura de un vertedero consiste en interrumpir la aportación de residuos, el recubrimiento con varias capas de terreno seleccionado, y la implantación de una cubierta vegetal o cualquier otro tipo de instalaciones, como campos de juego o jardines. Es importante impedir la implantación de instalaciones cuyas cimentaciones puedan afectar las capas inferiores (donde están los residuos acumulados) o que puedan verse afectadas por la compactación progresiva del terreno o la emisión de gases del propio vertedero.

3.20 ¿Qué tipo de proceso biológico es el compostaje en cuanto al aceptor de electrones? ¿Cuál es la fuente de carbono y de energía del proceso y cuál es el resultado final del proceso? ¿Cuál es el proceso responsable de la desinfección conseguida durante el compostaje? ¿Cómo se aporta el aire a la masa de residuo y cómo se asegura que el aire circula y llega a todos los puntos de la masa de residuo? ¿Qué consecuencias tiene una aireación inadecuada del proceso de compostaje?

Es un proceso aerobio, en el que el oxígeno actúa de aceptor de electrones. La fuente de carbono y la fuente de energía es la materia orgánica contenida en el residuo. El resultado final es un material mineralizado en gran parte, con una pequeña proporción de materia orgánica. Las reacciones de mineralización son exotérmicas, lo que genera un aumento de la temperatura de la masa del residuo, que puede llegar a superar los 40°C y que asegura una desinfección efectiva del compost. El aire se aporta generalmente mediante tubos perforados o rejillas colocadas en la parte inferior de la masa de compost. Para favorecer la libre circulación del aire por la masa del residuo, el residuo se mezcla con una cierta cantidad de material de soporte a fin de aumentar la porosidad de la mezcla. Además, la mezcla de residuo y material de soporte debe voltearse periódicamente con objeto de asegurara la uniformidad de las condiciones ambientales de toda la masa de residuo. Una aireación inadecuada favorece el desarrollo de condiciones anaerobias, con la consiguiente producción de ácido sulfhídrico (malos olores) y de metano (con riesgo de incendio).

3.21 ¿En qué consiste el proceso de compostaje de la materia orgánica, quienes son los agentes activos y qué condiciones ambientales se requieren? ¿Qué material



físico se utiliza y qué proceso físico se aplica al conjunto para promover el compostaje de la materia orgánica? ¿Qué tres tipos básicos de reactores se utilizan para compostar y qué proceso final se utiliza para separar el compost del resto del material? ¿Qué componentes físicos de un residuo deterioran la calidad del compost y cómo puede promoverse su ausencia en el residuo a compostar?

El compostaje es la mineralización aerobia de la materia orgánica de un residuo, mediante la acción de los descomponedores (bacterias y hongos) en condiciones adecuadas de aireación, temperatura, humedad y tiempo. Se utiliza un material de soporte para aumentar la porosidad del residuo (promoviendo así la circulación del aire) la aireación forzada y la agitación (volteo) periódica de la mezcla residuo-material de soporte, con objeto de asegurar que todo el residuo alcanza las condiciones adecuadas para su mineralización (aire, temperatura, humedad). Las pilas, los canales y los reactores cerrados (un reactor de mezcla completa); el cribado de la mezcla para recuperar el material de soporte, de una parte, y las diferentes granulometrías del compost, de otra parte. La presencia de material no biodegradable y persistente (como el vidrio, el plástico) deterioran la calidad del compost (rechazo por parte del usuario final); para ello debe promoverse la recogida selectiva de la materia orgánica, asegurando que a su llegada al centro de compostaje carece de estos materiales indeseables.



4. ABASTECIMIENTO Y SANEAMIENTO

- 4.1 Qué tres elementos integran un sistema de abastecimiento de agua y qué misión tiene cada uno de ellos? ¿Qué exigencia plantea la Directiva Marco del agua en relación con los costes del abastecimiento de un agua y qué nombre recibe la figura impositiva utilizada en Cataluña para llevarlo a cabo? ¿Cuál es el consumo básico de agua potable por habitante y día que establece la normativa catalana, qué tramos progresivos de consumo establece y cómo aumenta el factor impositivo con cada uno de ellos? ¿Cuál es el equilibrio económico básico que debe cumplirse de acuerdo con la Directiva Marco y qué nuevo tipo de costes es necesario incorporar en ese balance? ¿Cómo se explica la paradoja de que cuanto más agua ahorra el usuario mayor ha de ser el precio unitario del agua?

La captación-regulación (obtener y almacenar el agua), el tratamiento de potabilización (adecuar su calidad al uso previsto) y la distribución mediante la red de abastecimiento (el suministro al consumidor). La Directiva Marco establece la necesidad de recuperar todos los costes relativos al ciclo del agua a partir de las aportaciones de los usuarios/consumidores; en Cataluña se utiliza el canon del agua. La normativa catalana establece 100 litros/hab-día, equivalente a 9 m³ de agua trimestrales (+ 1 m³ adicional); el canon se duplica para los consumos superiores al doble del consumo básico, y se multiplica por 5 para los consumos que superan los 18 m³/hab-trimestre. Los costes del sistema de abastecimiento y del sistema de saneamiento han de ser iguales a los ingresos aportados por los usuarios; La Directiva Marco establece la necesidad de incorporar además los costes ambientales. Considerando que el agua "per se" no tiene coste, los costes del sistema de abastecimiento no fluctúan cuando se registran disminuciones moderadas del consumo; esto hace que al dividir el coste de la amortización y explotación del sistema por el número de metros cúbicos suministrados, el coste unitario aumente a medida que se consume menos agua.

- 4.2 ¿Qué tres elementos integran un sistema de abastecimiento de agua y qué misión tiene cada uno de ellos? ¿Qué exigencia plantea la Directiva Marco del agua en relación con los costes del abastecimiento de un agua y qué nombre recibe la figura impositiva utilizada en Cataluña para llevarlo a cabo? ¿Cuál es el consumo básico de agua potable por habitante y día que establece la normativa catalana, qué tramos progresivos de consumo establece y cómo aumenta el factor impositivo con cada uno de ellos? ¿Cuál es el equilibrio económico básico que debe cumplirse de acuerdo con la Directiva Marco y qué nuevo tipo de costes es necesario incorporar en ese balance? ¿Cómo se explica la paradoja de que cuanto más agua ahorra el usuario mayor ha de ser el precio unitario del agua?

La captación-regulación (obtener y almacenar el agua), el tratamiento de potabilización (adecuar su calidad al uso previsto) y la distribución mediante la red de abastecimiento (el suministro al consumidor). La Directiva Marco establece la necesidad de recuperar todos los costes relativos al ciclo del agua a partir de las aportaciones de los usuarios/consumidores; en Cataluña se utiliza el canon del agua. La normativa catalana establece 100 litros/hab-día, equivalente a 9 m³ de agua trimestrales (+ 1 m³ adicional) con un canon básico aproximado de 0,35 €/m³; el canon se duplica para los consumos superiores al doble del básico, y se multiplica por 5 para los consumos que superan los 18 m³/hab-trimestre. Los costes del sistema de abastecimiento y del sistema de saneamiento han de ser iguales a los ingresos aportados por los usuarios; La Directiva Marco establece la necesidad de incorporar además los costes ambientales.



Considerando que el agua "per se" no tiene coste, los costes del sistema de abastecimiento no fluctúan ante moderadas disminuciones del consumo; esto hace que al dividir el coste de amortización y explotación del sistema por el número de metros cúbicos suministrados, el coste unitario aumente a medida que se consume menos agua.

- 4.3 ¿Qué dos requisitos operativos básicos ha de satisfacer una red de abastecimiento de agua? ¿Qué dos formas físicas adoptan las redes de distribución y qué dos razones aconsejan la adopción de una forma concreta? ¿Qué dos criterios se utilizan para seleccionar el tipo y diámetro de los conductos utilizados en una red de distribución? ¿Cómo se organiza una red de distribución en una zona con grandes diferencias topográficas? Cita tres ventajas de disponer de un modelo informático de la red de distribución.

Proporcionar los caudales mínimos de proyecto y mantener la presión mínima recomendada. Las redes pueden ser ramificadas o malladas; las redes malladas permiten suministrar agua a un usuario desde dos orígenes diferentes, asegurando la fiabilidad del servicio y evitando la existencia de zonas de agua estancadas en las conducciones. Los criterios son adoptar tamaños que aseguren unas velocidades próximas a 1 m/s (con objeto de mantener unas pérdidas de carga razonables en los conductos) y adoptar tipos y tamaños de tubería similares a los disponibles en otras zonas de la red (con objeto de normalizar los tubos y las válvulas en el almacén de piezas de repuesto). Se distribuye en zonas o estratos horizontales, con objeto de mantener unas diferencias de presión razonables entre los puntos más bajos y los más altos de cada estrato. Un modelo informático de la red permite un control instantáneo de los caudales circulantes, de modo que se pueden detectar posibles fugas o consumos inusuales, permite una planificación de la sustitución o mantenimiento de los elementos de la red (piezas o válvulas) y facilita la información a los usuarios ante una posible interrupción temporal del servicio de abastecimiento, así como un suministro alternativo en caso de necesidad.

- 4.4 ¿En qué consiste el proceso de coagulación de la MES de un agua? ¿En qué consiste el proceso de floculación de la MES de un agua? ¿Qué papel juegan los polielectrolitos y en qué punto del proceso se añaden al agua? ¿Cómo puede llegar a producirse la inversión de la carga eléctrica de la MES? ¿Qué tipo de reactor alcanza el mayor rendimiento de floculación y cómo se explica ese resultado?

Coagular es un proceso destinado a neutralizar, desestabilizar, reducir la carga eléctrica superficial de las partículas, de modo que las fuerzas de repulsión entre ellas sean lo menos intensas posibles. La coagulación se consigue añadiendo al agua una sustancia denominada coagulante que se adhiere a la superficie de las partículas, neutralizando su carga superficial. Flocular es un proceso destinado a promover la unión permanente de partículas primarias, de modo que formen una unidad de mayor tamaño y mayor densidad. La floculación se consigue agitando las partículas previamente coaguladas para que adquieran energía cinética, se choquen entre sí, venciendo las posibles fuerzas eléctricas de repulsión, y queden retenidas por acción de las fuerzas de atracción de las masas. El polielectrolito es una sustancia destinada a promover la unión de flóculos entre sí, de modo que las nuevas asociaciones de partículas tengan mayor tamaño, mayor densidad, y mayor resistencia a la abrasión que puede causar la turbulencia del agua. Se añaden en las últimas etapas de la floculación. La adición de un exceso de coagulante hace que su aportación de carga (generalmente positiva) sobrepase la carga superficial negativa de la partícula, haciendo que ésta adquiera una



nueva carga superficial (positiva en estas condiciones) debida al exceso de coagulante adherido. El reactor de flujo en pistón alcanza siempre un mayor rendimiento cuando la velocidad de reacción del proceso en cuestión es de primer orden, como ocurre con la velocidad de reacción de la floculación de partículas primarias. El balance másico de un reactor de flujo en pistón resulta en una expresión exponencial, mientras que el balance másico de un reactor de mezcla completa resulta en una expresión aditiva.

- 4.5 ¿Cómo se define la coagulación de la MES de un agua y cómo se realiza en la práctica? ¿Cómo se define la floculación de la MES de un agua y cómo se realiza en la práctica? ¿Cuál es el modelo cinético normalmente utilizado para estudiar la floculación de la MES de un agua y que unidades tiene cada uno de sus factores? ¿Qué efecto real tiene un aumento progresivo de la intensidad de agitación en el rendimiento de la floculación y qué interpretación puede hacerse de ello en relación con ese modelo cinético? ¿Qué objetivo tiene la adición de un polielectrolito y en qué momento del proceso se añade al agua?

La coagulación es la desestabilización/neutralización de la carga eléctrica superficial de las partículas en suspensión en un agua; se realiza añadiendo un coagulante, que al adherirse a la superficie de las partículas les aporta su carga eléctrica, generalmente positiva. Flocular es aportar energía cinética al agua para que las partículas que contiene choquen entre sí y puedan quedar agrupadas en forma de flóculos; este fenómeno de retención es tanto más efectivo cuanto menor es la repulsión eléctrica de las partículas, es decir, cuanto mejor coaguladas están; la floculación se suele realizar agitando el agua mediante unas aspas, con suavidad, para favorecer los choques y evitar la rotura de los flóculos, una vez formados. El modelo cinético es $dN/dt = -k G N$, donde N es la concentración de partículas primarias (en mg/l, o en turbiedad), k es una constante que depende de la temperatura, el coagulante y el tipo de partículas, y G es una medida del aporte de energía por unidad de volumen, medido en segundos (-1) o de forma aproximada como rpm. A medida que la intensidad de agitación aumenta (mayores valores de G) la floculación mejora, hasta que llega un momento que la intensidad provoca un mayor número de separaciones/roturas de flóculos que de formación de los mismos. A partir de un valor suficientemente alto de la intensidad de mezcla, la floculación es totalmente ineficaz. Eso significa que el modelo propuesto solo es aplicable a bajos valores de G ; para valores de G elevados, el modelo debe introducir un factor adicional que refleje la separación de flóculos (re-generación de partículas primarias) causada por la intensa agitación. El polielectrolito es una molécula, generalmente orgánica, que tiene como objetivo unir flóculos entre sí; por ello se añade una vez que los flóculos se han formado, en el último de los floculadores utilizados en el proceso.

- 4.6 ¿Qué objetivo tiene el ensayo “jar test” o de floculación? ¿Qué variables del ensayo y qué valores de estas variables se adoptan para simular el proceso de mezcla inicial, el proceso de floculación y el proceso de decantación? ¿Qué evolución sigue la turbiedad residual del agua en función de la dosis de coagulante y cómo se explica este resultado? ¿Cómo se denominan las posibles zonas de floculación resultantes?

Determinar experimentalmente la dosis óptima del coagulante necesario para flocular un agua. Las variables son el tiempo de agitación y la intensidad de agitación empleadas durante cada una de las etapas: 1) la coagulación, hasta un minuto, con velocidades de agitación máxima, 2) la floculación, durante 10-20 minutos, y velocidades de giro entre 40-60 rpm, y 3) la decantación, con reposo total y una duración mínima de unos 30 minutos. La turbiedad disminuye a medida que se utilizan



dosis crecientes de coagulante, hasta llegar a un valor mínimo (dosis óptima) sobrepasado el cual, la turbiedad residual comienza a aumentar por efecto de la inversión de la carga superficial de las partículas (el exceso de coagulante se adhiere sobre las partículas, haciendo que ahora se repelan por exceso de carga positiva); hasta que se alcanza una dosis suficientemente alta de coagulante, que provoca la formación de un precipitado de hidróxido del ión metálico utilizado como coagulante; este precipitado arrastra todas las partículas hacia el fondo (floculación por barrido). Las zonas son: 1) dosis insuficiente, 2) dosis óptima, 3) dosis excesiva, con inversión de carga y 4) floculación por barrido, con dosis excesivas.

- 4.7 ¿Qué dos alternativas básicas pueden aplicarse para la separación de los flóculos formados en un agua? ¿Qué aditivos pueden añadirse al agua para potenciar cada uno de esos dos procesos? ¿Cómo se explica la mejora conseguida por la instalación de lamelas en un decantador? ¿Qué inclinación y separación suelen adoptar en la práctica? ¿Qué característica de la MES perturba el proceso de auto-limpieza que las caracteriza?

El principio básico es modificar su densidad: 1) aumentándola para favorecer que decanten, y 2) disminuyéndola, para favorecer que asciendan por flotación. Lastrándola con una sustancia de mayor densidad que el agua, como micro-granos de arena silíceo (120-130 μm), o bien añadiéndole una micro-burbuja de aire. La instalación de lamelas, paralelas y muy próximas entre sí, hace que aumente la superficie de decantación y por tanto disminuya la carga hidráulica superficial, haciendo que el decantador tenga una mayor eficacia de retención de partículas. La trayectoria de las partículas (inclinada y ascendente) hace que éstas choquen rápidamente con las superficies de las lamelas favoreciendo su retención. La inclinación suele ser de 60° , su separación es de unos 10 cm y la altura de 1-2 metros. La presencia de materia orgánica en las partículas retenidas hace que se desarrolle una biopelícula sobre las lamelas, que engloba las partículas retenidas y dificulta que éstas deslicen por efecto de su peso y dificultando el proceso de auto-limpieza; esta complicación es característica de las lamelas que retienen materia en suspensión inorgánica.

- 4.8 ¿Cómo se define la carga hidráulica superficial de un decantador y en qué unidades se expresa? ¿Qué efectos tiene sobre la distribución de velocidades de decantación de los flóculos contenidos en el agua? ¿Cómo se explica la mejora obtenida con la instalación de una placa a media altura del decantador? ¿Qué forma, inclinación, separación relativa, profundidad y método de limpieza tienen las lamelas que se instalan en los decantadores?

El caudal que recibe el decantador por unidad de superficie y unidad de tiempo. Tiene unidades de $\text{m}^3/\text{m}^2\text{-día}$. Todas las partículas cuya velocidad de decantación sea igual o superior a la carga hidráulica superficial (v_0) quedarán retenidas al 100% en el decantador. Las partículas con velocidades de decantación inferiores a v_0 quedarán retenidas en proporción al cociente v/v_0 . La instalación de una placa horizontal en la parte media de un decantador resulta en un aumento del área superficial sobre la que discurre el agua, haciendo que disminuya el cociente Q/S , y por tanto el correspondiente valor de v_0 , con lo que ello representa de mayores rendimientos de eliminación de partículas. Las lamelas son placas finas, colocadas con una inclinación de 60° , separadas unos 10-15 cm, con una profundidad de 1-2 metros, que permiten disminuir considerablemente la carga hidráulica del decantador y por tanto su rendimiento de eliminación. Su inclinación permite que se auto-limpien, cuando el peso de las partículas retenidas supera la adherencia de las mismas sobre la superficie del material de la lamela.



- 4.9 ¿Cómo se define la carga hidráulica superficial de un decantador y en qué unidades se expresa? ¿Qué grupos de flóculos determina cuando se dibuja sobre la distribución de frecuencias de la velocidad de decantación? ¿Cómo puede estimarse gráficamente el rendimiento de eliminación a partir de esa distribución de frecuencias? ¿Cómo se explica la mejora del rendimiento de eliminación obtenida con la instalación de una placa a media altura del decantador? ¿Qué ventaja y qué exigencia relativas tienen los decantadores circulares frente a los rectangulares?

El caudal de agua que circula por el decantador dividido por la superficie horizontal sobre la que circula. Tiene unidades de $\text{m}^3/\text{m}^2\text{-día}$ y también de velocidad de decantación, mm/s . La introducción del valor de la carga hidráulica sobre la gráfica de la distribución acumulada de frecuencias genera dos grupos de flóculos: 1) los que tienen velocidades de decantación superiores, que quedan completamente retenidos en el decantador, y 2) los que tienen velocidades inferiores, que quedan parcialmente retenidos en el decantador. La retención porcentual puede estimarse mediante el cociente entre el área que queda por encima de la distribución de frecuencias acumuladas y a la izquierda de la carga hidráulica superficial, y la propia carga hidráulica superficial. La incorporación de una placa horizontal hace aumentar la superficie sobre la que circula el agua, disminuyendo la carga hidráulica superficial y aumentando el rendimiento de eliminación. Los decantadores circulares tienen un sistema de limpieza y arrastre de los materiales decantados que es sencillo de instalara y de explotar, por el contrario requieren más superficie de terreno para su implantación, en cuanto que no permiten aprovechar todo el terreno disponible. Los decantadores rectangulares tienen la ventaja de que permiten un aprovechamiento total de la superficie de terreno disponible, pero el sistema de limpieza y arrastre de los sedimentos es complejo y difícil de explotar.

- 4.10 ¿Cuál es el mecanismo responsable de la filtración en un filtro lento de arena? ¿Cuál es el mecanismo responsable de la filtración en un filtro rápido de arena? ¿Cómo se realiza la limpieza de cada uno de estos filtros? ¿Cuáles son las cargas hidráulicas superficiales de cada uno de ellos? ¿Qué ventaja funcional ofrecen los filtros a presión?

La biopelícula que se forma sobre la capa superficial de granos de arena, propiciada por la presencia en el agua tanto de microorganismos como de materia en suspensión que queda retenida en la superficie del filtro por efecto del tamizado. El choque y la adherencia de los flóculos contenidos en el agua sobre los granos de arena, a medida que el agua percola por sus intersticios. Los filtros lentos se limpian interrumpiendo la filtración y dejando secar la biopelícula, de modo que pueda retirarse mecánicamente por arrastre superficial. Los filtros rápidos se limpian inyectando aire y agua a contracorriente: el aire agita los granos de arena, que al rozar unos contra otros se desprenden de la MES retenida, y el agua arrastra esa MES hacia el exterior del filtro. Las cargas hidráulicas son $5\text{-}10 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-día}$ para los filtros lentos, y de $240\text{-}360 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-día}$ para los filtros rápidos. Los filtros a presión es permiten mantener la energía potencial del agua afluente, consumiendo solamente la energía necesaria para vencer el rozamiento del paso del agua a través del filtro.

- 4.11 ¿Qué diferencia existe entre desinfectar y esterilizar? ¿Cuales son los tres agentes más frecuentemente utilizados para desinfectar un agua? ¿Cómo se define el cloro libre y el cloro combinado contenido en un agua? ¿Cómo se define conceptual y numéricamente el punto de ruptura de del proceso de cloración de



un agua? ¿Cuáles son los compuestos desinfectantes presentes en las zonas inferior y superior al punto de ruptura?

Desinfectar es inactivar los microorganismos patógenos (causantes de enfermedad) que pueda contener un agua o un producto. Esterilizar es inactivar todo tipo de microorganismos y de vida que puedan estar presentes en un agua o un producto determinado. Los compuestos conteniendo cloro, el ozono y la luz ultravioleta. El cloro libre lo integran el ácido hipocloroso y el ión hipoclorito, mientras que el cloro combinado lo integran las cloraminas, obtenidas por reacción del cloro libre con amoníaco (cloraminas inorgánicas: monoclорamina, dicloramina y tricloruro de nitrógeno) o de sustancias aminadas (cloraminas orgánicas). El punto de ruptura es la dosis de cloro reducida químicamente referida a la dosis de amoníaco oxidado químicamente, de modo que ambos compuestos desaparecen al término de la reacción: el valor aproximado es de 8-10 mg de cloro activo por cada mg de amoníaco como nitrógeno. Los compuestos desinfectantes presentes cuando se utilizan dosis de cloro inferiores al punto de ruptura son las cloraminas inorgánicas, principalmente monoclорamina y en menor grado dicloramina, mientras que a dosis de cloro superiores al punto de ruptura, el compuesto predominante es el cloro libre y pequeñas concentraciones de tricloruro de nitrógeno.

4.12 ¿Qué expresión cinética se utiliza normalmente para modelar la desinfección de un agua? ¿Qué hipótesis simplificadora se adopta para su aplicación y qué condiciones ambientales son responsables de su incumplimiento? ¿Qué configuración de reactor químico permite alcanzar el mayor rendimiento? ¿Cómo se deduce esta conclusión? ¿Qué forma constructiva adoptan usualmente los reactores utilizados para la desinfección del agua?

La expresión es $dN/dt = -kCN$, donde N es la concentración de microorganismos, C es la concentración de desinfectante (supuesta constante) y k es la constante de desinfección (dependiente del tipo de microorganismos, el desinfectante y la temperatura). La hipótesis usual es que la concentración de desinfectante se mantiene constante, cuando en realidad suele disminuir con el paso del tiempo debido a la destrucción del desinfectante, generalmente bajo el efecto de la luz y la temperatura. El reactor de flujo en pistón es el que mayor rendimiento/eficiencia tiene con una expresión de la velocidad de reacción como esa (de primer grado en N). Se deduce de realizar el balance másico en un reactor de flujo discontinuo, donde la expresión se reduce a la integral de una exponencial. La forma de un conducto, bien en forma de tubería cerrada o bien en forma de un canal encajado en forma de zig-zag dentro de un recinto de base rectangular (conocido generalmente con el nombre de laberinto de desinfección).

4.13 ¿En qué consiste el "punto de ruptura" de la desinfección con compuestos clorados? ¿Cuál es el otro compuesto químico responsable de esta reacción química tan específica? ¿Qué relación aproximada guardan el cloro activo añadido y el compuesto presente en el agua, cuando se alcanza el punto de ruptura? ¿Cómo se denominan y que valencia química tiene el cloro en los compuestos producidos con dosis relativas inferiores a la del punto de ruptura? ¿Qué dos ventajas esenciales tienen esta forma de desinfección con respecto a la generación de sub-productos?

Es la dosis de cloro libre añadido (medido como cloro activo) que permite la total oxidación del amoníaco contenido en el agua, de modo que todo el cloro se invierte en oxidar todo el amoníaco presente, sin que quede cloro libre residual ni amoníaco



residual. El amoníaco, por su gran afinidad química para reaccionar con el cloro libre. La relación más usual es próxima a 8,5- 9,5 mg de cloro activo por cada mg de nitrógeno amoniacal. Una dosis de cloro libre inferior a la correspondiente al punto de ruptura de un agua resulta en la producción de cloraminas inorgánicas (monocloramina y dicloramina principalmente); la valencia química de estos compuestos es +1, igual a la del cloro libre. La cloraminación tiene la ventaja de generar menor cantidad de derivados órgano-halogenados (DBP) (el cloro combinado es menos reactivo que el cloro libre) y tener una mayor persistencia en el agua (el cloro combinado tiene mayor estabilidad que el cloro libre).

- 4.14 ¿Qué especies químicas integran el cloro libre residual y el cloro combinado residual? ¿Qué unidades se utilizan para valorar el contenido de cloro de una molécula y que reacción de referencia se utiliza para valorarla? ¿Qué es el punto de ruptura del proceso de cloración de un agua? ¿Qué dos formas de cloro residual predominan por debajo y cuáles por encima de dicho punto? ¿Cómo se denomina el proceso de cloración en cada una de esas condiciones?

El cloro libre residual lo integran el ácido hipocloroso y el ión hipoclorito. El cloro combinado residual lo integran las cloraminas inorgánicas (monocloramina, dicloramina y tricloruro de nitrógeno) así como las cloraminas orgánicas que puedan formarse. Se utiliza el cloro activo, medido como la capacidad para oxidar, en condiciones ácidas, el yoduro contenido en una disolución y convertirlo en yodo molecular. La reacción de la molécula de cloro gas con el ión yoduro se adopta como reacción de referencia, asignándosele a la molécula de cloro un contenido del 100% de cloro activo. El punto de ruptura es la dosis de cloro que permite oxidar todo el amoníaco presente en un agua, de modo que al cabo de unas horas todo el cloro añadido ha sido consumido en la oxidación de todo el amoníaco presente. Dosis de cloro inferiores a la dosis del punto de ruptura hacen que las especies cloradas presentes sean las cloraminas inorgánicas, principalmente mono- y di-cloramina. Dosis superiores al punto de ruptura permiten mantener en el agua una concentración residual de cloro libre y pequeñas concentraciones de tricloruro de nitrógeno. La primera se denomina cloraminar y la segunda clorar con cloro libre.

- 4.15 ¿Qué dos formas físicas del cloro se utilizan para la desinfección del agua? ¿Qué reacciones tienen lugar cuando se disuelve cada una de estas formas de cloro en un agua? ¿Qué efectos tienen los productos generados sobre la alcalinidad del agua y sobre el pH del agua desinfectada con cada uno de esas formas? ¿Cuál es la serie de reacciones responsables de la generación accidental de cloro gaseoso en una instalación de desinfección de agua, como una piscina por ejemplo? ¿Cuál es la expresión de la ley de Chick-Watson para la desinfección de un agua con cloro, indicando claramente el significado de sus elementos?

Cloro gas licuado y cloro líquido en forma de lejía (hipoclorito sódico/cálcico). La disolución de cloro gas en agua genera ácido hipocloroso (que se disocia a su vez en ión hipoclorito e ión hidronio) y ácido clorhídrico (que se disocia completamente) generando concentraciones adicionales del ión hidronio. La introducción de hipoclorito sódico en un agua genera ácido hipocloroso (que se disocia en ión hipoclorito e ión hidronio) e hidróxido sódico (que se disocia en su totalidad, generando sodio e ión hidroxilo. El ión hidronio generado en el primer caso neutraliza parte de la alcalinidad del agua y hace que el pH del agua tienda a bajar, tanto más cuanto menor sea su alcalinidad: el ión hidroxilo generado en el segundo caso incrementa la alcalinidad del agua y hace que su pH tienda a subir, tanto más cuanto menor sea su alcalinidad. La adición accidental de ácido (generalmente clorhídrico,



utilizado para control del pH del agua) en una disolución de lejía (utilizada para desinfectar el agua de la piscina) hace que el ión hipoclorito se transforme en ácido hipocloroso, que a su vez se transforma en cloro gas disuelto en el agua, y finalmente en cloro gas que se desprende del agua; una vez en la atmósfera puede ser dispersado por los sistemas de ventilación o acondicionamiento de aire, pudiendo afectar gravemente a todas las personas ubicadas en el recinto deportivo. La ley de Chick-Watson es $dN/dt = -k C N$, donde N es la concentración de microorganismos en contacto con una concentración de desinfectante C , y donde k es una constante que depende de la temperatura, del tipo de microorganismo y del tipo de desinfectante. La aplicación de esta ley a diferentes tipos de reactores resulta en diferentes expresiones cinéticas.

- 4.16 ¿Cuál es el mecanismo responsable de la desinfección con luz ultravioleta? ¿Cuál es la longitud de onda óptima para este proceso? ¿Qué característica óptica del agua determina la eficiencia de este proceso de desinfección? ¿En qué intervalo oscila el rendimiento energético (energía efectiva para la desinfección) de las lámparas de luz UV? ¿Cómo se denomina el proceso de reparación que experimentan los microorganismos tras su exposición a la luz UV y qué factor natural lo promueve?

La alteración de las moléculas de ADN de las células, mediante la modificación de los enlaces químicos entre las dos hélices del ADN, lo que dificulta o impide la duplicación (copia) del ADN y por tanto la producción de las proteínas necesarias para la vida de la célula. La luz UV con longitud de onda de 254 nm es la que mayor absorción registra por parte de las moléculas de ADN. La transmitancia del agua, es decir su capacidad para permitir el paso de la luz UV sin ser absorbida por las sustancias que ésta pueda contener, pues ello permite que una mayor proporción de la luz UV incidente esté disponible para actuar sobre los microorganismos que se trata de inactivar. Entre el 5 y el 30% de la intensidad incidente. La foto-reactivación, es decir la reparación (propiciada por la propia luz blanca) de las alteraciones causadas por la luz UV en el ADN de las células. La foto-reactivación está promovida por la luz natural visible.

- 4.17 ¿Qué ventaja tiene la desinfección con luz ultravioleta respecto a la desinfección con cloro? ¿Qué limitación práctica tiene la desinfección con luz UV de un agua de abastecimiento? ¿Qué consecuencias tiene la presencia de materia orgánica disuelta sobre la eficacia de la desinfección con luz UV? ¿Qué parámetro de calidad del agua se utiliza para valorar los posibles efectos de esa presencia? ¿Qué estrategia se suele adoptar para beneficiarse de las facetas positivas de estos dos desinfectantes?

La luz UV genera una concentración insignificante o indetectable de subproductos de la desinfección, mientras que el cloro produce en determinadas condiciones concentraciones superiores a las deseables. La limitación más importante es que la luz UV no ofrece un efecto protector permanente, más allá del instante en que el agua está frente a las lámparas de luz UV. La materia orgánica disuelta absorbe luz UV y por tanto disminuye la cantidad de luz UV disponible para la desinfección del agua. La transmitancia del agua a 254 nm (medida en %) se utiliza para valorar la presencia de materia orgánica en el agua y su posible efecto negativo sobre la eficacia de la desinfección con luz UV. Cuanto mayor es la concentración de materia orgánica disuelta, menor es el valor de la transmitancia; en general, se recomienda mantener un valor mínimo de la transmitancia del 60%. Una forma de beneficiarse de las facetas positivas de ambos desinfectantes es realizar una desinfección inicial con luz UV en la planta de potabilización y después añadirle al agua (antes de que abandone la planta



potabilizadora) una pequeña dosis de cloro que aporte la protección necesaria durante la circulación del agua entre la planta de potabilización y los puntos de uso.

- 4.18 ¿Qué dos problemas principales plantea la presencia de materia orgánica en un agua de abastecimiento? ¿Qué objetivo principal tiene la utilización de ozono y de carbón activado como forma de resolver esas cuestiones y en qué orden se aplican en la práctica? ¿En qué consiste el proceso de activación de un carbón y qué dos formas prácticas se utilizan para ello? ¿En qué condiciones físicas y con qué materia prima se realiza la generación de ozono? ¿Cómo se explica el aumento de materia de materia biodegradable que suele experimentar una agua tratada con ozono?

Sus posibles efectos desfavorables sobre la salud pública (por compuestos presentes o generados durante los procesos de potabilización) y el posible crecimiento de biopelícula en el interior de las conducciones, con lo que ello puede representar de deterioro de la calidad microbiológica y organoléptica del agua que circula por los propios conductos. La biopelícula protege a los microorganismos frente a los desinfectantes; la materia orgánica absorbe luz UV y por tanto interfiere desfavorablemente con esta técnica de desinfección. El ozono tiene como objetivo oxidar (parcial o totalmente) la materia orgánica y el carbón activado retener las moléculas orgánicas por adsorción sobre su superficie; primero se aplica el ozono (destruye o modifica los compuestos) y luego el carbón activado (retiene las moléculas restantes). Activar es aumentar la superficie específica activa del carbón; se realiza mediante calentamiento a altas temperaturas (700°C) o mediante ataque con ácidos inorgánicos (fosfórico). El ozono se genera mediante descargas eléctricas, entre electrodos sometidos a elevadas diferencias de potencial (miles de voltios), en una atmósfera de aire seco (o incluso oxígeno puro): ciertas moléculas de oxígeno se transforman en ozono, un gas inestable y mucho más oxidante. El intenso carácter oxidante del ozono hace que ciertas moléculas no biodegradables, que pueden estar presentes en el agua, se transformen parcialmente en otras de menor tamaño que pueden tener carácter biodegradable.

- 4.19 ¿Qué tres elementos básicos integran un sistema de saneamiento? ¿Qué Directiva de la UE rige la depuración de las aguas residuales urbanas? ¿En qué consiste esencialmente el proceso de depuración de la MD y la MES de un agua residual? ¿Qué requisitos básicos definen un nivel de tratamiento primario? ¿Qué dispositivos técnicos, convencional y alternativo, se utilizan para realizar el tratamiento primario?

El sistema de alcantarillado, el proceso de depuración de las aguas residuales y el sistema de vertido de las aguas depuradas al medio receptor. La Directiva 91/271 relativa a la depuración de las aguas residuales. Consiste esencialmente en extraerlas del agua, generalmente mediante una transformación previa en formas físicas de mayor tamaño y densidad (por medios físico-químicos o biológicos) que faciliten esa separación. Un tratamiento primario ha de permitir una reducción del 60% de la MES y un 30% de la DBO₅ contenidas en el agua afluente al proceso. El dispositivo convencional es un decantador (proceso mecánico basado en la gravedad) aunque cada vez se utilizan más los tamices (auto-limpiantes), que consiguen un gran ahorro de espacio y un funcionamiento más uniforme y estable.

- 4.20 ¿Qué tres elementos básicos integran un sistema de saneamiento? ¿Quién tiene responsabilidad exclusiva sobre el primero de ellos y que nombre reciben las normas para su explotación? ¿Qué directiva comunitaria es aplicable al segundo



de esos elementos y qué misión principal tiene ese elemento? ¿De qué opciones se dispone generalmente para realizar el tercero de los elementos del sistema? ¿Cómo se sufraga el coste de todo este sistema de saneamiento en Cataluña? ¿Cómo se denomina la institución encargada de la gestión integrada del agua en Cataluña?

La red de alcantarillado, el sistema de depuración del agua y el sistema de vertido del agua depurada. La red de alcantarillado es responsabilidad del Ayuntamiento (municipal) y las normas se denominan "ordenanzas de vertido a la red de alcantarillado". La Directiva aplicable a la depuración de las aguas residuales es la 91/271; la misión principal del sistema de depuración es asegurar que la calidad del agua depurada tiene el nivel adecuado para proteger/promover la calidad ambiental del medio receptor. Se puede verter al agua depurada a un medio receptor (río, mar, u otra masa de agua superficial o subterránea) o se puede reutilizar el agua. Mediante tributos que se aplican al agua utilizada por los consumidores, con objeto de recuperar los costes que comporta el potabilizar y abastecer el agua de consumo público y de recoger, depurar y verter el agua depurada. La Agencia Catalana del Agua.

4.21 ¿Qué tres elementos integran un sistema de saneamiento de agua y que misión tiene cada uno de ellos? ¿En qué consiste la capacidad de auto-depuración de una masa de agua o de suelo? ¿Qué condiciones pueden hacer que se supere la capacidad de auto-depuración de un medio natural, qué consecuencias prácticas tiene y cómo se designa tal condición ambiental? ¿Qué dos objetivos básicos tiene la depuración de un agua residual? ¿Qué dos factores físicos son necesarios para poder llevar a cabo la depuración de un agua y cómo se denominan los tipos de procesos de depuración en función de la predominancia de uno u otro de esos factores?

El sistema de alcantarillado (recogida de las aguas residuales), la estación depuradora de aguas residuales (adecuación de sus calidad a las normas exigidas) y el sistema de vertido o retorno al medio natural (emisario marino, vertido en costa, en el suelo u otros), Los medios naturales (suelo o agua) contienen un cierto número de descomponedores para realizar la mineralización de la materia orgánica que reciben, sin manifestar alteraciones aparentes de su equilibrio natural: a eso se le denomina capacidad de auto-depuración natural del medio. Una aportación de materia orgánica superior a la que el medio puede mineralizar de forma natural tiene como consecuencia la alteración del metabolismo (pasa de aerobio a anaerobio) y a la acumulación del excedente de materia orgánica, generando una condición que se suele denominar "contaminación". La depuración tiene como objetivos: mineralizar la materia orgánica del agua, y extraer/separar las sustancias indeseables que se le han aportado al agua durante su uso. Para ello es necesario disponer de espacio (tiempo para la mineralización) y de energía (para aportar oxígeno y impulsar los procesos mecánicos de separación). Los procesos que disponen de mucho tiempo y poca energía: sistemas naturales o tecnologías blandas; los procesos que utilizan poco tiempo y mucha energía: sistemas convencionales o tecnologías duras.

4.22 ¿Cuáles son los dos elementos básicos de un sistema de saneamiento autónomo y qué objetivos esenciales tiene cada uno de ellos? ¿Qué dos parámetros y qué valores de estos se utilizan para el dimensionamiento del primero de ellos? ¿Qué objetivo tiene la instalación de un deflector interior y de un salida en forma de "T"? ¿Cuál es el factor determinante del funcionamiento del segundo de ellos y qué valor suele alcanzar en la práctica? ¿Qué dispositivos se utilizan para detectar su correcto funcionamiento y para ofrecer una alternativa que asegure la



continuidad del sistema y la recuperación de su capacidad de tratamiento?

La fosa séptica y la zanja/dispositivo de infiltración. La fosa es un decantador de la MES y un digestor anaerobio de la misma, mientras que la zanja es un filtro percolador que permite mineralizar la materia disuelta y asegurar el vertido posterior del efluente en el medio receptor (el suelo). La fosa se dimensiona con un tiempo mínimo de estancia del agua, del orden de 2 días, y un tiempo máximo de limpieza de los fangos, que puede oscilar entre 4 y 10 años, aproximadamente. El deflector interior tiene como objeto mitigar la turbulencia producida por la entrada del agua en la fosa; la salida en forma de T tiene por objeto asegurar que los materiales flotantes no son arrastrados por el efluente de la fosa, y quedan retenidos en la misma. El factor determinante es la velocidad de filtración del suelo de la zanja, especialmente cuando se establece una película biológica que limita la velocidad de filtración, con independencia del tipo de suelo en que se instale la zanja. La velocidad de filtración, una vez establecida la película biológica, oscila entre 5-10 cm/día. Las arquetas de distribución permiten dirigir el efluente de la fosa hacia las zanjas de infiltración, y las arquetas de observación permiten valorar la capacidad de filtración de las zanjas en cada momento. Las zanjas de infiltración alternativas (de repuesto) permiten que el sistema de infiltración funcione en continuo, a la vez que facilitan la recuperación de la capacidad filtrante de una de las zanjas, manteniéndola en reposo (en seco) durante varios años para que la película biológica se seque, se mineralice y desaparezca en gran parte.

- 4.23 ¿Qué tipos de efluentes líquidos integran las aguas residuales urbanas? ¿Qué dos tipos de red de alcantarillado que pueden considerarse en una zona urbana y qué tipo de agua conducen cada una de ellas? ¿Qué régimen hidráulico caracteriza a las redes de saneamiento urbano, en contraste con las redes de abastecimiento de agua, y qué consecuencias práctica tiene el sobrepasar su capacidad hidráulica? ¿Qué tres factores principales diferencian las aguas residuales de orígenes tan diferentes como el urbano y el industrial? ¿Cómo se designan los sistemas de depuración en función de su mayor o menor alcance geográfico o del número de habitantes servidos?

Las aguas residuales urbanas están generalmente integradas por aguas residuales (domésticas y comerciales) y las aguas de escorrentía (aguas de lluvia). Las redes unitarias, que conducen conjuntamente las aguas residuales y las aguas de escorrentía, y las redes separativas, en las que un conducto lleva exclusivamente aguas residuales y otro conducto lleva aguas de escorrentía. Las redes de alcantarillado tienen un régimen hidráulico en lámina libre (en contacto con la atmósfera, y por tanto la presión es la atmosférica); si se sobrepasa su capacidad hidráulica, el agua tendrá tendencia a salir por las comunicaciones de la alcantarilla con el exterior, como pueden los imbornales o las tapas de registro en medio de las calles. La calidad (tipos de sustancias y concentraciones), los caudales y la variabilidad en el tiempo, tanto de la calidad como de los caudales. Los sistemas centralizados, cuando recogen las aguas de una gran número de habitantes o una extensa zona urbana, y los sistemas descentralizados, cuando solo tratan el agua de unos pocos o una parte de los habitantes de una zona (desde una familia hasta un barrio o distrito).

- 4.24 ¿Qué procesos integran el pre-tratamiento de un agua residual? ¿Qué efectos ambientales provoca y qué precauciones suelen adoptarse para mitigarlos? ¿Qué dos métodos pueden utilizarse para medir el caudal de agua afluente a la EDAR? ¿En qué consiste un tratamiento primario y qué rendimiento tiene? ¿Cuál es el tiempo de estancia hidráulica característico de un tratamiento primario?



El pre-tratamiento incluye 1) la impulsión del agua desde la alcantarilla, 2) la eliminación de materiales gruesos con rejillas, de arena y de grasas con un desarenador aireado y un desengrasador y 3) la medida del caudal mediante un caudalímetro. Es un punto de generación de olores y de proliferación de insectos, lo que suele evitarse confinando las instalaciones dentro de un recinto con ventilación forzada, dotado de sistemas de limpieza y purificación de los gases extraídos. La medida del caudal puede hacerse mediante modificaciones de la sección hidráulica (efecto Venturi) o mediante medidas indirectas de tipo electromagnético (sección de medida intercalada en el conducto, generalmente en un tubo cerrado). Un tratamiento primario es un proceso capaz de retener aproximadamente un 60% de la MES afluente y un 30% de la DBO_5 afluente. La forma más convencional es utilizar un decantador primario, aunque también pueden utilizarse microtamices y otros medios de separación mecánica, que tienen rendimientos similares y permiten una economía de espacio. Las ventajas son la mayor compacidad (ahorro de espacio), el control de olores y la mayor eficacia. El tiempo de estancia hidráulica de un decantador primario suele ser de unas 2 horas.

4.25 ¿Qué tres procesos básicos integran la fase de pre-tratamiento de un agua residual? ¿Qué objetivos últimos tienen cada uno de ellos? ¿Qué criterios operativos se utilizan para valorar el rendimiento de un proceso primario de depuración? ¿Qué limitaciones numéricas establece la Directiva 91/271 para valorar un proceso secundario de depuración? ¿Qué tratamientos terciarios cabe esperar que se instalarán en un futuro inmediato en Cataluña y con qué objetivos?

El pre-tratamiento incluye el desbaste mediante rejillas de diferentes tamaños de paso, el desarenado, y el desengrasado; además de la medida del caudal de agua afluente. Extraer la materia particulada (superior a unos mm), extraer la arena arrastrada por el agua, extraer la grasa contenida en el agua, y medir el caudal de agua tratada (parámetro básico de la gestión económica del proceso). Un proceso secundario es aquel capaz de producir un efluente con menos de 25 mg DBO_5/L y menos de 35 mg MES/L . Los procesos de tratamiento destinados a reducir parcial o totalmente el contenido de nutrientes: nitrógeno y fósforo.

4.26 ¿Qué objetivos de calidad tiene un tratamiento secundario según la Directiva europea aplicable? ¿Qué alternativas de tratamiento secundario existen en cuanto al tipo de flujo del proceso y en cuanto al estado del cultivo biológico? ¿Qué elementos básicos integran un proceso de fangos activados? ¿Qué objetivos tienen cada uno de ellos y qué medios técnicos se utilizan para conseguirlos? ¿Qué tiempos de estancia tienen cada uno de esos componentes?

Los objetivos legales de un tratamiento secundario, de acuerdo con la Directiva 91/271, son obtener un agua con unas concentraciones medias de 35 mg/L de MES y de 25 mg/L de DBO_5 . En cuanto al flujo se refiere: flujo continuo y flujo discontinuo (secuencial). En cuanto al estado del cultivo: cultivo en suspensión (la mayoría de las alternativas de fangos activados) y de cultivo adherido a un soporte físico (los filtros percoladores); hay una versión mixta actual en la que se dispone de un soporte físico (plástico, material granular, membrana) sobre el que los microorganismos están adheridos y que permanece a su vez en suspensión (el caso de pequeños cilindros corrugados de plástico o de material esponjoso) o en reposo dentro del reactor biológico, como los bio-filtros o las bio-membranas. El reactor biológico, el decantador secundario y el sistema de recirculación de fangos desde el decantador al reactor. El reactor facilita el crecimiento celular mediante la asimilación y la mineralización de la materia orgánica (disuelta y en suspensión) promovido por la aireación y la agitación.



El decantador permite eliminar (retirar) la MES producida en el reactor biológico mediante el reposo casi total del agua, y compactar la MES así decantada. El efluente clarificado se evacua por la superficie, los fangos de recirculación y la purga de fangos se extraen por el fondo del decantador. El tiempo medio de estancia hidráulica del reactor biológico es generalmente de 4-8 horas, y el del decantador de 2 horas.

- 4.27 Qué límites básicos de calidad determinan un efluente secundario? ¿Qué elementos básicos integran un proceso de fangos activados y qué tiempos medios de estancia hidráulica y de estancia celular tienen cada uno de ellos? ¿Qué objetivo tiene la recirculación celular? ¿Cuál es el factor determinante de la eficacia del segundo de esos elementos? ¿Qué avances tecnológicos se están implantando para sustituir este elemento y cuál es su principio de funcionamiento?

Los límites establecidos por la Directiva Europea son: 25 mg/L de DBO₅ y 35 mg/L de MES. El reactor biológico y el decantador secundario. El agua permanece en el reactor biológico entre 4-8 horas (en algunos casos puede ser mucho mayor, hasta días y meses) y en el decantador entre 1,5 y 2 horas. La recirculación celular tiene por objeto aumentar la concentración celular, permitiendo así reducir el tiempo de estancia del agua y por tanto reduciendo el tamaño, volumen y coste de las instalaciones. La eficacia de los decantadores secundarios depende fundamentalmente de la decantabilidad de los flóculos formados en el reactor biológico: si el fango no decanta adecuadamente, el agua saldrá turbia, conteniendo gran parte de las sustancias que se desean retener mediante la depuración. La utilización de soportes físicos, como pequeños cubos de material esponjoso, tratan de incorporar/combinar los beneficios derivados de los cultivos adheridos (filtros percoladores) en/con los cultivos en suspensión; por otra parte, la incorporación de membranas de microfiltración trata de asegurar la retención efectiva de los microorganismos presentes en el líquido procedente del reactor biológico, obteniendo así un efluente final de gran calidad, con un contenido de MES muy bajo.

- 4.28 ¿Qué tipo de tratamiento básico proporciona un reactor biológico secuencial, RBS? ¿De qué elementos consta este tipo de tratamiento y cuál es la diferencia más significativa con un proceso biológico convencional? ¿Qué etapas integran el funcionamiento de uno de estos reactores? ¿Cómo puede conseguirse la desnitrificación del agua en un RBS? Cita dos EDAR de Cataluña que dispongan de este proceso de depuración.

Es un tratamiento biológico secundario basado en un proceso de fangos activados. Consta de un único reactor en el que tienen lugar todas las fases del proceso, de forma secuencial o consecutiva; se caracteriza porque no requiere decantador, pues el propio reactor actúa de decantador cuando se detienen todos los mecanismos de agitación y de aireación. Las fases más frecuentes son: 1) el llenado, 2) la agitación, con aireación continua o discontinua, 3) la decantación, 4) la extracción de agua, 5) la extracción de fango y 6) el periodo de reposo. Mediante la alternancia de periodos aerobios (en que la aireación permite que el cultivo realice la nitrificación, utilizando el oxígeno como aceptor de electrones) y de periodos anaerobios (en que la falta de aireación propicia la desnitrificación, utilizando el nitrato como aceptor de electrones). Las EDARs de Cerçs, Santa Pau, y La Molina.

- 4.29 ¿Qué tres grandes fracciones de subproductos se generan durante el proceso de depuración de un agua? ¿Qué dos objetivos básicos tienen los procesos que se aplican a estos subproductos? ¿Qué dos procesos físicos/mecánicos se suelen



utilizan para conseguir el primero de ellos? ¿Qué destino tienen los materiales inertes y los materiales gruesos extraídos? ¿Qué tipo de tratamiento biológico se utiliza preferentemente para depurar los subproductos de alto contenido orgánico así obtenidos? ¿Qué dos atractivos complementarios tiene esta estrategia y cómo se justifican conceptualmente? ¿Qué otro tipo de tratamiento biológico puede adoptarse?

Los residuos obtenidos durante el pre-tratamiento (arenas, flotantes, residuos sólidos) los fangos primarios (materia orgánica muerta) y los fangos secundarios (materia orgánica viva) . Deshidratarlos, para disminuir su contenido de agua y que ocupen el menor volumen posible, haciendo que sus costes de manipulación y de vertido sean los menores posibles, y mineralizarlos, para disminuir su contenido de materia orgánica biodegradable, para que sean más estables y menos ofensivos (en cuanto que no entrarán en condiciones anaerobias cuando los microorganismos consuman la materia orgánica que contienen) . Los métodos físicos utilizados para deshidratarlos son los tamices, los espesadores, las centrifugas. Las arenas se pueden utilizar en reconstitución de suelos (bosques, campos), y los materiales gruesos se suelen llevar a vertedero. El proceso biológico más adecuado para depurar los fangos es el tratamiento anaerobio o la digestión anaerobia. Los dos objetivos básicos son 1) reducir la generación de materia orgánica (los procesos anaerobios tienen $Y = 0,1$) con lo que ello significa de menor cantidad de sustancias restantes que deben disponerse de alguna manera, y 2) convertir la materia orgánica afluyente en bio-gas, con lo que ello significa de producción de energía renovable que puede utilizarse en la propia planta o bien incorporarse a la red general de distribución eléctrica. Un proceso aerobio, como el compostaje, que consigue esa misma mineralización, por procesos más naturales (más extensivos y con menos consumo energético) pero sin producción de energía.

4.30 ¿Cómo se explica que haya que recurrir a un tratamiento físico-químico cuando un agua residual tiene contaminantes tóxicos? ¿Qué configuración de reactor biológico tiene mayor rendimiento en la depuración de aguas residuales y cómo se explica esta afirmación? ¿Cuál ha sido la evolución histórica seguida por la configuración de los reactores biológicos? ¿Cómo se explica esta evolución? ¿Qué actuaciones han permitido conseguir que las aguas afluentes tengan una calidad aceptable para este tipo de tratamientos?

La presencia de contaminantes tóxicos hace inviable la utilización de un proceso biológico y por tanto plantea la necesidad de utilizar un tratamiento físico-químico, insensible a ese tipo de condiciones. El reactor de flujo en pistón es que mayor rendimiento tiene; la aplicación de una expresión cinética de primer orden para la velocidad de reacción, como suele generalmente seguir la degradación de la materia orgánica, resulta en una expresión exponencial de la evolución de la materia orgánica [$C = C_0 \exp(-k t)$], en comparación con una expresión lineal cuando se utiliza un reactor de mezcla completa [$N = N_0 / (1 + k t)$]. La configuración de los reactores ha evolucionado desde los reactores de mezcla completa (con mayor capacidad para diluir posibles aportaciones episódicas de sustancias tóxicas), comunes hasta la década de los 1990, hacia los reactores de flujo en pistón, cada vez más frecuentes (con mayor rendimiento de depuración, pero más sensibles a la posible llegada de sustancias tóxicas). El mayor contenido biodegradable de las aguas a depurar, junto con el menor contenido de sustancias tóxicas y problemáticas han contribuido a la mayor implantación de los reactores de flujo en pistón, que son más eficientes, pero tienen una menor capacidad para diluir los posibles caudales episódicos de agua residual conteniendo sustancias problemáticas.



- 4.31 ¿Qué proceso físico y qué procesos biológicos tienen lugar en un sistema de lagunaje convencional y qué beneficios ofrece cada uno de ellos? ¿Qué proceso de simbiosis se establece en la capa superior de agua de un sistema de lagunaje, y qué sustratos y productos llevan asociados cada uno de los componentes de ese proceso? ¿Qué dos grandes estrategias se pueden adoptar para separar los productores primarios generados en un lagunaje, y cómo se designan cada uno de esos tipos de lagunaje? ¿Qué superficie unitaria aproximada requieren cada uno de estos sistemas de lagunaje? ¿Cuál es la característica esencial de un proceso de tratamiento por humedales con respecto a un sistema de lagunaje?

La materia en forma de partículas sedimenta en el fondo de la laguna, donde es mineralizada anaerobiamente y fermentada, y la materia disuelta es mineralizada aerobiamente en las capas superiores de la laguna, mediante la acción combinada de bacterias aerobias que se abastecen del oxígeno producido por las algas. La mineralización de los sedimentos hace que disminuya su volumen, y la mineralización de la materia disuelta hace que se convierte en productores primarios. Las bacterias degradan la materia orgánica, liberando nutrientes y dióxido de carbono, y consumiendo oxígeno, mientras que las algas asimilan los nutrientes y el dióxido de carbono y producen oxígeno. La estrategia de dejar que vayan decantando y quedando retenidos en la superficies laterales y de fondo de las lagunas (especialmente las de maduración o afino) o bien agitar el contenido de la laguna (lagunaje de alto rendimiento) para favorecer el desarrollo de algas sin movilidad, de modo que, cuando se detenga la agitación, las algas sedimenten rápidamente. El primer lagunaje es el de maduración y el segundo el de alto rendimiento. El primero requiere de 5 a 10 m²/hab, y el segundo de 3 a 6 m²/hab. El sistema de humedales utiliza plantas macroscópicas como sustrato físico (superficie de apoyo) para el desarrollo de las bacterias, y a la vez como fuente de oxígeno (emitido a través de las paredes celulares de los tallos y las raíces sumergidas); en definitiva, promueve la existencia de procesos biológicos asentados sobre sustratos fijos, en lugar de procesos biológicos en suspensión como los sistemas de lagunaje convencional o de alto rendimiento.

- 4.32 ¿Qué microorganismos participan en el proceso de simbiosis que tiene lugar en el agua de una laguna facultativa? ¿Qué sustrato utilizan, que subproductos generan cada uno de ellos y cuál es la fuerza motora del proceso? ¿Qué misión tienen las lagunas de maduración o de pulido posteriores? ¿Qué estrategia utilizan las lagunas de alto rendimiento para promover la clarificación del agua? ¿Qué exigencia operativa tiene el proceso de separación para ser realmente efectivo?

Las micro-algas y los hongos y las bacterias heterótrofas. Las bacterias y los hongos mineralizan la materia orgánica, consumiendo oxígeno y liberando nutrientes y dióxido de carbono; las micro-algas consumen los nutrientes y el dióxido de carbono, produciendo oxígeno y más material celular (más algas). La fuerza motora del proceso es la energía solar que asegura la función clorofílica de las micro-algas. Las bacterias y los hongos obtienen energía de la degradación de la materia orgánica. Las lagunas de maduración tienen como principal objetivo decantar y mineralizar las micro-algas contenidas en el efluente de la laguna facultativa. La laguna de alto rendimiento permite aportar energía cinética al agua (mediante agitación) de modo que las algas que no tienen motilidad propia pueden permanecer en el agua y desarrollarse en competencia con las que tienen motilidad propia. La supresión de ese aporte de energía en un momento dado hace que las algas sin motilidad propia decanten de forma natural y el agua quede clarificada. Para ello basta instalar un decantador, donde las



condiciones de reposo faciliten la decantación de dichas algas.

- 4.33 ¿Qué microorganismos participan en el proceso de simbiosis que tiene lugar en la masa de agua de una laguna facultativa? ¿Qué substrato utilizan, que subproductos generan cada uno de ellos y cuál es la fuerza motora del proceso? ¿Qué objetivo principal tiene la instalación de una fosa anaerobia y qué dispositivo técnico puede requerir durante los meses de mayores temperaturas? ¿Qué oscilación experimenta el oxígeno disuelto en el agua durante un ciclo diario? ¿Qué proceso bioquímico es responsable del efecto desinfectante natural de una laguna?

Las algas microscópicas y las bacterias heterótrofas responsables de la mineralización aerobia de la materia orgánica. Las bacterias mineralizan la materia orgánica, consumiendo oxígeno, produciendo dióxido de carbono y liberando nutrientes (nitrógeno y fósforo) mientras que las algas consumen dióxido de carbono y nutrientes, y producen oxígeno. La fuerza motora del proceso es la energía solar que impulsa el crecimiento de las algas, que a su vez transmiten el oxígeno a las bacterias. El objetivo principal de la fosa anaerobia es promover la degradación anaerobia de la materia orgánica del agua, favoreciendo con ello una escasa producción de materia celular ($Y=0,1$); la generación de ácido sulfhídrico y metano durante los meses de verano (mayores temperaturas y mayores tasas de actividad de bacterias anaerobias) hace con frecuencia necesaria la instalación de turbinas superficiales que ayuden en la aportación de oxígeno realizada por las algas, de modo que sea posible oxidar todo el ácido sulfhídrico generado, evitando así la proliferación de malos olores y la generación de colores oscuros en el agua de la laguna (sulfuro ferroso). El oxígeno disuelto en el agua registra una oscilación diaria, con máximos durante el mediodía solar y mínimo antes de la salida del sol: las algas producen oxígeno por fotosíntesis y respiran oxígeno durante las horas de oscuridad. Del mismo modo, consumen dióxido de carbono durante las horas de luz y producen dióxido de carbono durante las horas de oscuridad. Esto provoca oscilaciones del pH que puede llegar a valores de 9,0 durante el día y de 6,0 durante la noche; estas oscilaciones de pH son responsables del efecto desinfectante sobre los microorganismos patógenos (alóctonos, ajenos, extraños a ese medio ambiente).

- 4.34 ¿Qué elementos básicos integran un sistema de saneamiento individual o autónomo? ¿Qué aportación principal realiza cada uno de ellos al proceso de depuración de un agua? ¿Cuáles son los dos parámetros básicos utilizados para dimensionar el primero de ellos y cuáles son sus valores numéricos más usuales? ¿Cuáles son los dos parámetros básicos utilizados para dimensionar el segundo de ellos y cuáles son sus valores numéricos más usuales? ¿Qué dos medidas operativas deben observarse para asegurar que el segundo elemento no se colmata irreversiblemente y que, una vez que rebaja su permeabilidad, puede recuperarla en gran parte?

La fosa séptica y la zanja de infiltración. La fosa es un decantador y un digestor anaerobio de la materia orgánica decantable (en forma de partículas) y la zanja permite una filtración y una mineralización de la materia orgánica disuelta. La fosa: el tiempo de estancia del agua (unos 2 días) y el tiempo de limpieza de los fangos (de 2 a 4 años) La zanja: la velocidad de filtración a través de la película biológica (de 5 a 10 cm/día) y la profundidad y la longitud de zanja necesaria (función de la parcela de terreno disponible, generalmente de hasta un metro de profundidad y hasta una decena de metros de longitud en cada tramo) con un sistema de zanja de repuesto. La vigilancia del efluente de la fosa de modo que consigue retener la materia en suspensión,



evitando así que pueda colmatar las superficies filtrantes de la zanja, y la instalación de un sistema de zanjas de repuesto (alternativo) de modo que mientras uno de ellos está en funcionamiento, el otro queda fuera de servicio y puede recuperar su capacidad de filtración.

- 4.35 ¿Cómo se explica que la velocidad de infiltración de un agua residual en el terreno alcance un valor estable, con independencia de la porosidad del propio suelo? ¿Qué valor numérico suele alcanzar esa velocidad de infiltración? ¿Qué criterio de explotación de la fosa séptica permite prolongar esa velocidad de infiltración? ¿Qué dispositivo debe instalarse para poder detectar el agotamiento de la capacidad de filtración de un suelo? ¿Qué estrategia se adopta para dotar a la instalación de saneamiento de continuidad operativa en estas condiciones?

La velocidad de infiltración a medio y largo plazo (semanas, años) viene determinada por la biopelícula que se forma sobre la superficie del terreno de la zanja de infiltración, en contacto con el agua residual. Esa biopelícula recubre y se adhiere al terreno, haciendo que el agua se infiltre a una velocidad que es independiente de la velocidad de infiltración que registra el terreno durante los primeros días (superior en los suelos arenosos que en los arcillosos), antes de que se haya desarrollado la película biológica. Entre 5 y 10 cm/día, equivalente a 50 a 100 l/m²-día. La limpieza periódica de los fangos acumulados en la fosa permite asegurar que los fangos no terminan saliendo (siendo arrastrados) con el efluente de la fosa séptica, lo que contribuiría a colmatar de forma notable o casi total la superficie de infiltración en el terreno, provocando así la inundación de la zanja de infiltración. Una arqueta de inspección en el extremo final de la zanja de infiltración: la presencia de agua en esta arqueta indica que se ha sobrepasado la capacidad de infiltración de la zanja. El desvío del flujo de agua hacia la zanja de infiltración de repuesto (mediante una arqueta de reparto) permite dejar la primera en seco, y facilitar que la biopelícula se mineralice y la zanja recupere su capacidad de infiltración con el paso de los meses y los años.

- 4.36 ¿Qué objetivos básicos tiene una laguna facultativa? ¿Qué capas de agua se generan en función del tipo de tratamiento que tiene lugar en ellas? ¿Qué procesos biológicos tienen lugar en cada una de ellas? ¿Qué dos tipos de microorganismos principales participan en el proceso de la capa superior? ¿Qué elementos se generan y cuáles se reutilizan durante ese proceso? ¿Cómo se explica el proceso de desinfección que se registra en estas lagunas?

Asegurar la decantación de la materia en suspensión, mineralizar la materia decantada en el fondo (mediante procesos anaerobios) y mineralizar la materia disuelta y no-decantable (mediante procesos aerobios propiciados por la aportación de oxígeno que realizan las micro-algas). La capa inferior, donde prevalecen las condiciones anaerobias y la capa superior, de carácter aerobio debido a la aportación de oxígeno que realizan la micro-algas. Esta capa superior actúa de capa desodorante de los gases generados en la capa inferior. Las bacterias aerobias mineralizan la materia orgánica, consumiendo oxígeno y liberando nutrientes y dióxido de carbono, mientras que las micro-algas, por acción de la luz solar, asimilan los nutrientes, consumen el dióxido de carbono y producen el oxígeno que pueden utilizar las bacterias. Este proceso es una simbiosis entre las micro-algas y las bacterias aerobias. Las oscilaciones de la producción de dióxido de carbono, por efecto de los cambios de luz solar entre el día y la noche, hacen que el pH del agua tenga unas oscilaciones muy marcadas, lo que a su vez produce una notable inactivación microbiana (efecto desinfectante natural).



- 4.37 ¿Qué ventaja y qué inconveniente principal tiene una laguna anaerobia? ¿Cómo se explica la presencia de gran cantidad de algas en suspensión en el efluente de una laguna facultativa? ¿Qué misión tienen las lagunas de maduración y qué profundidad de adopta para ello? ¿Cuál es la estrategia adoptada en las lagunas de alto rendimiento para promover la separación de las micro-algas? ¿Qué elemento adicional tienen estas lagunas y qué criterios de explotación deben respetarse?

La ventaja: permite alcanzar una mineralización más rápida y efectiva de la materia orgánica contenida en el agua. El inconveniente: genera gases como el ácido sulfhídrico, el metano y el nitrógeno que pueden ser molestos y peligrosos (especialmente los dos primeros). La capa superior de una laguna facultativa es un medio propicio para el desarrollo de proceso de simbiosis entre bacterias mineralizadoras de la materia orgánica y de micro-algas verdes. Las algas utilizan los nutrientes y el dióxido de carbono producidos por las bacterias, junto con la energía solar, para producir nuevas células de algas y grandes cantidades de oxígeno molecular, y las bacterias utilizan el oxígeno producido por las algas para mineralizar la materia orgánica aportada por el afluente de agua residual. La misión de las lagunas de maduración es promover la eliminación (por decantación) de las micro-algas verdes que se encuentran en suspensión en el efluente de la laguna facultativa y contribuir a la desinfección natural del agua que circula por las lagunas (por exposición a la luz solar y cambios de pH). La profundidad es de 1,0 m, con objeto de acortar la profundidad de decantación y de asegurar la penetración de la luz solar en toda la profundidad. Aportar una cierta energía de agitación, como forma de favorecer el desarrollo de determinadas especies de micro-algas que no tienen capacidad para mantenerse en suspensión por sí mismas. La incorporación de un decantador, donde las condiciones de reposo permitan la decantación rápida de esas micro-algas que se han desarrollado en la laguna de alto rendimiento; el decantador debe estar dotado de un sistema de evacuación de las algas decantadas, para evitar que estas floten y salgan con el efluente, y debe estar protegido de la luz para mitigar la función clorofílica de las algas decantadas y la producción de oxígeno, que favorecería la flotación de las algas decantadas.

- 4.38 ¿Cuál son los agentes responsables de la depuración de un agua en un humedal? ¿Qué relaciones se establecen entre ellos, qué sustancias se reciclan en ese proceso y cuál es el resultado final de esos procesos biológicos? ¿Cómo se clasifican los humedales en cuanto a la presencia de lámina de agua y qué tipo de metabolismo bacteriano predomina en cada caso? ¿Cómo se clasifican los humedales en cuanto a la circulación del agua en su interior?

Las bacterias que mineralizan la materia orgánica y las plantas superiores que producen el oxígeno, incluso por sus raíces, y consumen los nutrientes. El proceso es similar al que tiene lugar en una laguna facultativa aunque, en el caso de un humedal, los productores primarios son plantas superiores, en lugar de las micro-algas presentes en un lagunaje. Las bacterias aerobias mineralizan la materia orgánica, consumiendo oxígeno y liberando nutrientes y dióxido de carbono, mientras que las plantas, por acción de la luz solar, asimilan los nutrientes, consumen el dióxido de carbono y producen el oxígeno que pueden utilizar las bacterias. Este proceso es una simbiosis entre las plantas y las bacterias aerobias. Humedales superficiales, cuando hay lámina de agua visible, con metabolismo aerobio, y humedales sub-superficiales, cuando el nivel superior del agua queda por debajo del material granular que compone el sustrato físico del humedal (gravas generalmente); la escasez de oxígeno en las capas inferiores hace que el metabolismo sea anaerobio principalmente. Humedales de flujo



horizontal o de flujo vertical (generalmente descendente).

- 4.39 ¿Cómo se define el proceso de regeneración de un agua? ¿En qué consiste reutilizar un agua regenerada? ¿Qué tres elementos principales se requieren para reutilizar un agua? ¿Qué dos motivaciones principales tiene la reutilización del agua? ¿Qué dos calificaciones recibe la reutilización en función de la forma de hacer llegar el agua al usuario? ¿Y en cuanto al destino final del agua regenerada?

La regeneración de un agua se define como el proceso necesario para adecuar su calidad al uso concreto al que se piensa dedicar. Reutilizar un agua consiste en ponerla a disposición de usuario que la desea usar. La reutilización requiere básicamente 1) una red de distribución que transporte el agua desde el punto de regeneración hasta el punto de utilización, 2) un dispositivo que permita regular la producción/oferta de agua regenerada a la demanda de agua regenerada y 3) diversos requisitos de uso, tales como el color de los conductos o las formas de realizar la reutilización. Las motivaciones son: 1) disponer de recursos hídricos adicionales y 2) resolver el tratamiento y/o vertido de las aguas residuales de forma diferente a las convencionales. La llegada del agua al usuario hace que la reutilización sea: 1) indirecta (mediante mezcla con aguas de otros cauces) y 2) directa (cuando se realiza sin mediar mezcla con otras aguas). En cuanto al destino se refiere: 1) potable, cuando se destina a la ingestión humana en algún momento, y 2) no potable, cuando no se destina a la ingestión humana.

- 4.40 ¿Qué procesos de tratamiento integran la planta de regeneración de agua de Vitoria-Gasteiz? ¿Qué proceso de decantación se utiliza y cómo se explica el color y el espesor de la materia acumulada sobre sus placas? ¿Cómo se evita normalmente ese desarrollo biológico? ¿Qué fases del proceso de depuración del agua de la planta de Palma de Mallorca plantean problemas de olores y qué técnicas se han adoptado para mitigarlos? ¿Qué tipo de reactor biológico se utiliza en la depuradora de Palma de Mallorca, y qué medios se utilizan para agitar y para airear su contenido?

La coagulación-floculación, la decantación lamelar, la filtración en arena y la desinfección con cloro. Decantadores rectangulares con lamelas superficiales; la lamelas se cargan de materia biológica (el proceso de auto-limpieza no es efectivo) debido a la presencia de microorganismos (bacterias y sobre todo algas verdes) que asimilan los nutrientes contenidos en el agua, por efecto de la acción de la luz solar; esas algas le confieren un color verde a todas las superficies. Una forma de evitar ese crecimiento de las algas sería cubrir los decantadores, de modo que no llegase la luz solar necesaria para el crecimiento de las algas. Los procesos de pre-tratamiento, los decantadores primarios y los procesos de tratamiento de los fangos están cubiertos para asegurar que los gases generados son tratados antes de su salida al exterior de la depuradora. El reactor biológico es un reactor de flujo en pistón (mucho más largo que ancho) que se airea con aire comprimido introducido en pequeñas burbujas desde el fondo de determinadas secciones del reactor, y la agitación se realiza con hélices suspendidas mediante cables desde la parte superior de reactor.