

Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco

1

Facultad de Ciencias Naturales y Ciencias de la Salud



TRABAJO FINAL

**ESTACIONES DE SERVICIO: MANEJO AMBIENTAL DE EFLUENTES
INDUSTRIALES Y RESIDUOS PELIGROSOS.**

Caso de estudio: Comodoro Rivadavia.

Especialización en Ciencias Químicas con mención en Diagnóstico Ambiental

Alumna: Bioq. Muñoz Adriana Valeria

Director: Dr. Acuña, Adrián Javier

2021

*A mi hija Gaia, por motivarme a pensar un mundo mejor.
A mi mamá y a mi tía Olgui, por ser mis guías.*

AGRADECIMIENTOS

A mi Director Adrián Acuña, por la paciencia y la empatía. Le debo gran parte de mi carrera académica y más. Gracias por confiar en mí siempre.

A mi familia por su amor y contención.

A mis compañeras por el apoyo y las risas compartidas.

A los docentes de la Especialización por transmitir sus saberes.

A quienes me ayudaron en cada paso de este proceso con respuestas a mis mil millones de consultas.

¡Gracias!

ÍNDICE

RESUMEN	7
<hr/>	
1. INTRODUCCIÓN	8
Estaciones de servicio	8
Combustibles líquidos y aceites lubricantes	10
Efluentes industriales y residuos peligrosos	12
<hr/>	
2. PROCESOS Y PROCEDIMIENTOS	15
Descarga de combustibles	15
Almacenamiento de combustibles	16
Servicio de despacho de combustibles	17
Servicio de lubricación	18
Servicio de lavado de autos	18
Mantenimiento de instalaciones: playa, taller y lavadero	19
<hr/>	
3. PRINCIPALES CONTAMINANTES	21
Distribución de los contaminantes	21
Contaminantes líquidos	22
Contaminantes sólidos	22
Contaminantes gaseosos	23
<hr/>	
4. EFECTOS	25

Efectos sobre el medio ambiente	25
Efectos sobre la biota	28
Efectos sobre los seres humanos	28
<hr/>	
5. LEGISLACIÓN	31
Legislación Nacional	32
Legislación Provincial	35
Legislación Municipal	36
Límites admisibles	38
<hr/>	
6. METODOLOGÍAS ANALÍTICAS	42
Efluentes líquidos	42
Efluentes gaseosos	50
<hr/>	
7. TRATAMIENTOS	53
Tratamiento de efluentes líquidos	53
Tratamiento de residuos peligrosos	55
Tratamiento de efluentes gaseosos	56
<hr/>	
8. TÉCNICAS ANALÍTICAS APLICADAS AL ANÁLISIS FORENSE	57
<hr/>	
Historia del sitio	57
<hr/>	
Técnicas analíticas	58

Biomarcadores	58
CONCLUSIONES	62
BIBLIOGRAFÍA	63
ANEXO	69
GLOSARIO	74

RESUMEN

En la ciudad de Comodoro Rivadavia las estaciones de servicio se encuentran distribuidas en áreas urbanas.

La principal actividad es la venta de combustibles líquidos, nafta y diesel. En menor medida cuentan con servicio de lubricación y lavadero de autos.

Los combustibles líquidos y aceites lubricantes son mezclas complejas de hidrocarburos.

El expendio de combustibles se considera una actividad de mediano impacto ambiental.

Sin embargo, durante las actividades habituales se originan residuos (líquidos, sólidos, semisólidos y gaseosos).

El objetivo de este trabajo es describir la situación actual local de las estaciones de servicio y el manejo de estos residuos contaminados, los cuales representan un potencial riesgo que podrían afectar la calidad del medio ambiente y la salud de los seres humanos.

Se detallan las actividades que se llevan a cabo en las estaciones de servicios; los principales contaminantes líquidos, sólidos y gaseosos y su distribución en los diferentes compartimentos; los efectos que pueden producir su gestión inadecuada en aire, agua, suelo o sedimentos, biota y seres humanos; la legislación vigente en materia medio ambiental a nivel Nacional, Provincial y Municipal y los límites admisibles; las metodologías analíticas existentes para determinar los parámetros indicadores teniendo en cuenta las fases previas al análisis (plan de muestreo, muestreo, pretratamiento, conservación y transporte), el análisis propiamente dicho y la expresión de los resultados obtenidos. Además, se mencionan los tratamientos disponibles para su disposición final y las técnicas aplicadas al análisis forense, en caso de que se presente la necesidad de investigar la responsabilidad de una estación de servicio en un incidente ambiental.

1. INTRODUCCIÓN

La ciudad de Comodoro Rivadavia es reconocida por su gran actividad petrolera y en la última década se ha incrementado exponencialmente su número de habitantes, dando como resultado el consecuente aumento de la plaza de automóviles. Esto trajo aparejado la instalación de nuevas Estaciones de Servicio que cubrieran las demandas de, principalmente, el abastecimiento de combustibles para su funcionamiento.

ESTACIONES DE SERVICIO

En la ciudad se encuentran habilitadas 18 estaciones de servicio (EDS) distribuidas en diferentes áreas urbanas: 8 en zona sur, 5 en zona norte y 5 en zona centro como se muestra en la Figura 1 (Habilitaciones comerciales, 2019). La totalidad de las estaciones de servicio corresponden a 2 empresas comercializadoras multinacionales distintas.



Figura 1. Distribución de Estaciones de Servicio de Comodoro Rivadavia. Referencias Zona Sur: color amarillo, Zona Centro: color verde y Zona Norte: color rojo. A: Axion Energy, Y: YPF. *Fuente: Elaboración propia usando Google Earth.*

Comodoro Rivadavia posee una superficie de 548,2 km², es decir que pueden encontrarse 0,03 EDS/km².

Teniendo en cuenta la distribución en la Figura 1 podemos destacar que en zona centro se encuentran más cercanas entre sí las estaciones de servicio y corresponde a una zona en la cual hay viviendas y comercios. También enfatizar en que dos de las mismas están muy próximas a la costa (A3 e Y3). Esto resulta un grave problema ambiental en caso de generarse algún tipo de contaminación por accidente o negligencia.

La principal actividad en las estaciones de servicio es la venta de combustibles líquidos, nafta y diésel, contando alguna de ellas también con servicio de lubricación y lavadero de autos. Los diferentes servicios que se ofrecen en cada una de ellas se describen en la Tabla 1.

Estación de servicio	Venta de combustibles	Lubricentro	Lavadero
A1 – RN3 y RP39	X	X	
A2 – RP1 e Italo de Loro	X		
A3 – Av. Rivadavia y Máximo Abásolo	X		
A4 – Av. San Martín y España	X		
A5 – Av. Rivadavia y Alvear	X		
A6 – Av. Rivadavia y Av. Kennedy	X		
A7 – Av. H. Yrigoyen y Av. Juan B. Justo	X		
A8 – Av. H. Yrigoyen y Av. Roca	X	X	
A9 – Av. Kennedy N° 3398	X		
A10 – RN3 Km 5135	X		
Y1 - Av. Ingenieros N° 380	X	X	
Y2 – Av. Libertador y Quintana	X	X	
Y3 – RN3 Km 1839	X		
Y4 – Av. H. Yrigoyen y Pellegrini	X	X	X
Y5 – Alvear y Dorrego	X	X	X
Y6 – Tucumán N° 515	X		
Y7 – Av. Yrigoyen N° 3140	X		
Y8 – Av. Yrigoyen N° 4499	X		

Tabla 1. Servicios brindados por las estaciones de servicio de la ciudad de Comodoro Rivadavia. Referencias **A:** Axion Energy, **Y:** YPF, **RN:** Ruta Nacional, **RP:** Ruta Provincial. Fuente: *Habilitaciones comerciales, 2020.*

El manejo ambiental de efluentes industriales y residuos peligrosos en el caso de estudio detalla las acciones que se requieren para prevenir, mitigar, controlar, compensar y corregir los posibles efectos o impactos ambientales negativos causados por esta actividad de servicio;

incluye también el seguimiento, evaluación y monitoreo a fin de cumplir con la legislación y garantizar que se alcancen los estándares establecidos, reduciendo el riesgo, preservando el medio ambiente y la calidad de vida.

COMBUSTIBLES LÍQUIDOS Y ACEITES LUBRICANTES

Los combustibles líquidos y aceites lubricantes son mezclas complejas de hidrocarburos. Se obtienen por destilación fraccionada, procesos de cracking, refinación y mezclado del petróleo crudo (API, 1987; Benini, R. *et al.*, 2011).

10

En la Tabla 2 se describen algunas de las características de la materia prima y sus productos.

Producto	Densidad (g/mL)	Nº carbonos	Característica del destilado
Petróleo crudo	~0,94	n-C1 a n-C34	Materia prima
Naftas	~0,73	n-C4 a n-C11	Destilación baja
Diesel	~0,83	n-C6 a n-C24	Destilación media
Aceites lubricantes	~0,88	n-C18 a n-C34	Destilación alta

Tabla 2. Características principales del petróleo crudo, naftas, diesel y aceites lubricantes. Fuente: Potter, T. y Simmons, K., 1998.

El Anexo I detalla la composición cualitativa de cada producto presentado en la Tabla 2 (Potter, T. y Simmons, K., 1998).

Las naftas, obtenidas a bajas temperaturas, se componen principalmente de n-alcanos, alcanos ramificados, cicloalcanos, alquenos, aromáticos y compuestos oxigenados (Potter, T. y Simmons, K., 1998).

Se comercializan como grado 2 o 3, siendo la principal diferencia entre ellas el número de octanos y la concentración de azufre.

El número de octanos de una nafta es una medida de su aptitud para entregar la mayor cantidad de energía al motor; mide su capacidad antidetonante, es decir, su capacidad de alcanzar la ignición en el momento justo en que el motor lo necesita, ni antes ni después. De lo contrario, se produce el efecto conocido familiarmente como pistoneo. Esto no depende exclusivamente de su composición química sino también de las circunstancias a las que se ven sometidas. El número de octanos se mide y se controla en dos condiciones perfectamente definidas dando lugar a dos variables:

- RON (Research Octane Number o número de octanos de investigación). Depende de este valor la salida a bajas revoluciones sin pistoneo. Por ejemplo, cuando se acelera en un semáforo.
- MON (Motor Octane Number o número de octanos motor). Depende de este valor evitar el pistoneo a altas revoluciones. Por ejemplo, cuando se acelera para pasar un auto en la ruta.

La nafta grado 2 tiene 95 octanos RON y más de 84 MON. La nafta grado 3, diseñada para los vehículos con motores más exigentes, tiene 98 octanos RON y más de 85 MON (Tabla 3). Estos altos valores garantizan su potencia y mayor rendimiento en todo tipo de situaciones (Axion Energy, Combustibles, 2020; YPF, Productos y Servicios, 2020).

En cuanto al contenido de azufre, la nafta de grado 3 tiene una muy baja cantidad en comparación con la nafta de grado 2.

Grado	Densidad (g/mL)	RON	MON	Bioetanol (%vol)	Azufre (ppm)	Benceno (%vol)	Color
2	0,740	95	84	12	75	0,7	Azul
3	0,748	>98	>85	12	<10	0,7	Natural

Tabla 3. Características de naftas grado 2 y 3. Fuente: Axion Energy, Combustibles, 2020; YPF, Productos y Servicios, 2020.

METIL TERBUTIL ETER

Al eliminar los compuestos de plomo de los combustibles, se requiere utilizar otros aditivos que permitan alcanzar los octanajes descritos en las especificaciones. Ciertos compuestos oxigenados, fundamentalmente alcoholes y éteres, poseen altas características antidetonantes y un largo historial de uso como aditivos.

El metil terbutil éter (MTBE) es cada vez más utilizado como componente de alto octanaje para mezclar en sustitución del plomo desde la década de 1980 (Pubchem, 2021). El empleo de combustibles sin plomo es impulsado por la utilización de catalizadores en los automóviles, con la finalidad de disminuir las emisiones de contaminantes a la atmósfera: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) e hidrocarburos (Secretaría de Energía, 2003).

Los combustibles diésel, destilados a temperaturas medias, contienen n-alcanos, alcanos ramificados, cicloalcanos, mono y diaromáticos, naftalenos y poliaromáticos. Se agregan compuestos inorgánicos y metales para mejorar su calidad. (Potter, T. y Simmons, K., 1998).

Los diésel garantizan máxima potencia liberada con menor consumo de combustible gracias a su alto número de cetano. Eso se debe a la composición. También se comercializan en grado 2 o 3 (Axion Energy, Combustibles, 2020; YPF, Productos y Servicios, 2020). La Tabla 4 detalla algunas de las características más relevantes.

Grado	Densidad a 15°C (g/cm ³)	Número de cetano	Biodiesel (%vol)	Azufre (ppm)	Color
2	0,845	50	10	<1000	Ámbar
3	0,84	<55	10	8	Verde

Tabla 4. Características de los diesel grado 2 y 3. Fuente: Axion Energy, Combustibles, 2020; YPF, Productos y Servicios, 2020.

BIOETANOL Y BIODIESEL

Los biocombustibles son combustibles renovables obtenidos a partir de biomasa vegetal o animal, que permiten reemplazar a los combustibles fósiles obtenidos del petróleo. Los más difundidos son el bioetanol y el biodiesel.

En la Argentina, son producidos exclusivamente a partir del cultivo de soja (*Glycine max*) usando el aceite como materia prima.

12

Su desarrollo fue motivado por una demanda internacional creciente desde mediados de la primera década de los años 2000, estableciéndose políticas que comenzaron a exigir la mezcla de biocombustibles con combustibles fósiles, en reemplazo de aditivos y las preocupaciones por las emisiones de gases de efecto invernadero.

La mezcla de biocombustibles con combustibles fósiles dentro del territorio depende de la zona geográfica. Por debajo del paralelo 42, las naftas y diesel se comercializan sin bioetanol o biodiesel, por lo tanto, los combustibles disponibles en la Ciudad de Comodoro Rivadavia no los contienen (Biodiesel Argentina, 2021; Cámara Argentina de biocombustibles, 2021; Ministerio de agricultura, ganadería y pesca, 2021).

Los aceites lubricantes, originados a altas temperaturas, están compuestos principalmente por n-alcanos, alcanos ramificados, cicloalcanos, mono y diaromáticos, naftalenos y poliaromáticos. Para mejorar su calidad son agregados compuestos clorados y metales (Potter, T. y Simmons, K., 1998). Actualmente los compuestos agregados considerados contaminantes han sido reemplazados o reducido su concentración para garantizar el menor impacto ambiental (Basile, J. y Durán, J.L., 2011).

EFLUENTES INDUSTRIALES Y RESIDUOS PELIGROSOS

El expendio de combustibles se considera una actividad de mediano impacto ambiental (Ordenanza Municipal N° 7060, 2000). Sin embargo, durante la manipulación de combustibles líquidos y aceites lubricantes, sumado al servicio de lavado de automotores inevitablemente se originan residuos (líquidos, sólidos, semisólidos y gaseosos).

Se define por residuo industrial a cualquier elemento, sustancia u objeto en estado sólido, semisólido, líquido o gaseoso, obtenido como resultado de un proceso industrial, por la realización de una actividad de servicio, o por estar relacionado directa o indirectamente con la actividad, incluyendo eventuales emergencias o accidentes, del cual su poseedor productor o generador no pueda utilizarlo, se desprenda o tenga la obligación legal de hacerlo (Ley Nacional N° 25612, 2002).

Es importante diferenciar los residuos líquidos en efluentes y no efluentes. Se consideran efluentes líquidos industriales aptos para vuelco aquellos que cumplen con los límites de emisión según la Ordenanza Municipal N° 3779-3/02. Aquellos que por sus características no son aptos para vuelco se consideran residuos peligrosos y son gestionados como tales, junto a los residuos sólidos y semisólidos.

EFLUENTES LÍQUIDOS

En las estaciones de servicio, las actividades propias que se realizan originan residuos industriales líquidos, que antes de su vertido a la cloaca deberán ser tratados *in-situ*. Una vez que abandonan los sistemas de tratamiento su destino será el mar y sus costas.

En la Ciudad existen 21 puntos o sitios registrados de descargas cloacales o pluvio cloacales. La Figura 2 muestra la extensión desde el denominado barrio Industrial (Avenida Dalle Mura, emisario submarino) en la zona sur, hasta el barrio Caleta Córdova (Calle los marinos, conducto a costa) en zona norte (OTS, 2020), implicando esto un amplio riesgo de contaminación de las playas.

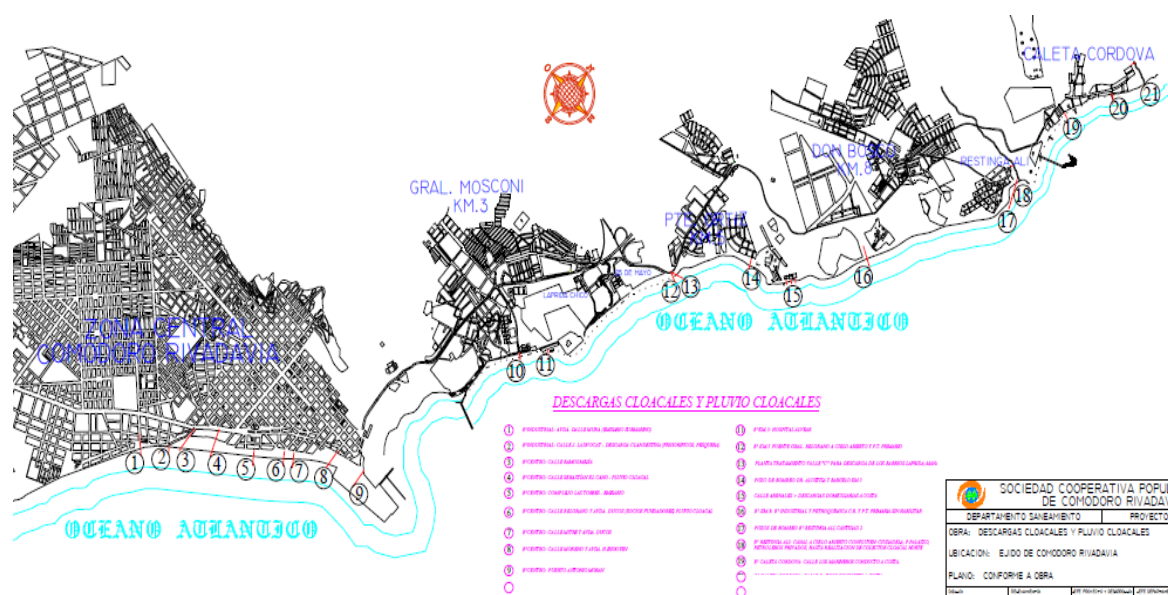


Figura 2. Descargas cloacales y pluvio cloacales de Comodoro Rivadavia. Fuente: OTS, 2020.

RESIDUOS PELIGROSOS

Residuo peligroso se considera todo material que resulte objeto de desecho o abandono y pueda perjudicar en forma directa o indirecta a seres vivos o contaminar el suelo, el agua, la atmósfera o el ambiente en general, y cualquiera de los indicados expresamente en el Anexo I o que posea alguna de las características enumeradas en el Anexo II de la Ley Nacional N° 24.051.

En las estaciones de servicio se producen corrientes de desechos líquidos Y8 e Y9 y sólidos Y48. Se considera dentro de la corriente Y48 a todos los materiales y/o elementos diversos contaminados con alguno o algunos de los residuos peligrosos identificados como Y8 o Y9 (Tabla 5).

Residuos líquidos	Corriente
Aceites minerales no aptos para el uso a que estaban destinados.	Y8
Mezclas y emulsiones de desecho de aceite y agua o de hidrocarburos y agua.	Y9

Residuos sólidos	Corriente
Trapos, guantes, cartones, recipientes de aceites con restos de derivados de hidrocarburos, papeles impregnados con derivados de hidrocarburos	Y48/Y9
Filtros usados	Y48/Y8
Barros contaminados	Y48/Y9

Tabla 5. Residuos peligrosos líquidos y sólidos de Estaciones de Servicio. *Fuente: DRP, 2020.*

EMANACIONES GASEOSAS

La emisión de hidrocarburos a la atmósfera contribuye a la formación de ozono en la tropósfera resultante de reacciones fotoquímicas al combinarse con otros contaminantes, esto puede resultar perjudicial para el medio ambiente en general y la salud de las personas.

Se ha estimado que la mitad de los compuestos orgánicos volátiles emitidos provienen de las actividades del hombre y de éstas, un 2,5% son generadas en las operaciones de carga y descarga de combustibles líquidos desde los camiones-tanque a depósitos en estaciones de servicio y terminales de despacho desde los surtidores hacia los vehículos, llamadas pérdidas operacionales (Nadal, L., 2010).

Actualmente, los combustibles diesel poseen un contenido de azufre por debajo de los niveles requeridos por los entes reguladores al ajustar su composición de derivados del petróleo. Esto minimiza la formación de depósitos, la generación de compuestos corrosivos y las emisiones contaminantes (YPF, Medio ambiente, 2020).

2. PROCESOS Y PROCEDIMIENTOS

En esta sección se detallarán las actividades que se llevan a cabo en las Estaciones de servicio.

DESCARGA DE COMBUSTIBLES

Los combustibles son transportados desde las refinerías o depósitos (Foto 1) de las empresas comercializadoras en camiones cisterna (Foto 2) hacia las estaciones de servicio donde serán descargados a las instalaciones subterráneas de almacenamiento.

15



Foto 1. Playa de tanques de almacenamiento de combustibles YPF Km 3, Comodoro Rivadavia. *Fuente: Elaboración propia.*



Foto 2. Camiones tanque de almacenamiento de combustibles YPF. *Fuente: Elaboración propia.*

ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES

Los tanques de depósito son cilíndricos y construidos con chapa de acero soldada con un espesor mínimo determinado en función de su diámetro (Tabla 6). Poseen soldadura de unión de chapa interna y externa (Foto 3).

Diámetro del tanque (cm)	Espesor mínimo de la chapa (mm)
Hasta 191	4,76
191-228	6,00
228-286	7,81
Más de 286	9,00

Tabla 6. Características de los tanques de almacenamiento de combustibles. *Fuente: Decreto Nacional N° 2407, 1983.*



Foto 3. Tanque de almacenamiento de combustible subterráneo. *Fuente: Surtidores, 2020.*

La instalación se realiza siguiendo los lineamientos dispuestos en las Normas de seguridad para el expendio de combustibles, Decreto Nacional N° 2470/83.

Con el fin de asegurar su correcto funcionamiento los tanques son testeados a diferentes presiones hidráulicas y tiempos tanto en el taller de fabricación como una vez ubicados en destino y además, se comprueba la estanqueidad del mismo y/o de las cañerías instaladas. Una vez probados e instalados, son revestidos, lo cual protege contra la acción corrosiva del suelo.

Se instalan con la parte superior a un metro por debajo del nivel de la playa. En caso de existir más de un tanque subterráneo, la distancia entre ellos se adaptará conforme al medio que los separe (suelo natural o arena, mampostería u hormigón).

Entre los tanques se coloca un sistema de válvulas que permita su total independencia.

Respecto al resto del terreno son separados a 1 metro o más del eje divisorio entre predios y a 30 centímetros o más de la línea municipal hacia el interior del predio.

En aquellos lugares en que, por su ubicación, una pérdida pudiera afectar a subsuelos vecinos, túneles y/o cámaras de servicios públicos y/o pozos de extracción de agua, el tanque cuenta

con una protección especial de revestimiento de hormigón, tanque de doble pared o cualquier otro método técnicamente aceptable y aprobado.

La boca de recepción de combustible del tanque subterráneo es instalada en zona abierta y ventilada, ubicándose en la playa de abastecimiento o de circulación. La misma estará sobre elevada respecto del nivel del pavimento en forma tal que evite el ingreso de agua.

Para la recepción de combustible la boca correspondiente tiene un adaptador que forma parte del sistema de recepción con acople hermético.

Cada tanque tiene ventilación independiente de acero galvanizado. Su remate o punto de descarga da a los cuatro vientos.

Estos sistemas, con recuperación de vapor, cuentan con una válvula de presión y vacío a efectos de compensar variantes de presión durante la descarga del camión y/o funcionamiento del surtidor.

SERVICIO DE DESPACHO DE COMBUSTIBLES

La instalación para suministro de combustibles se ubica en una playa bien aireada.

La isla de surtidores está formada por una base sobreelevada respecto de la playa -hormigón o mampostería- proyectada de modo tal que evita que el surtidor sea fácilmente embestado por los vehículos.

Los combustibles son transferidos desde el tanque subterráneo al surtidor (Foto 4). El surtidor tiene un dispositivo de control que permite operar la bomba de aquél sólo cuando se saca el pico de la manguera de su alojamiento o posición normal en relación al mismo y en forma tal que el interruptor eléctrico se acciona normalmente. Este interruptor control detiene la bomba cuando el pico ha vuelto a su posición normal de no abastecimiento, controlando el caudal e impidiendo una pérdida o descarga accidental.



Foto 4. Surtidores. *Fuente: Elaboración propia.*

SERVICIO DE LUBRICACIÓN

Las tareas del servicio de lubricación se llevan a cabo en el taller (Foto 5), incluye cambio de aceites lubricantes y filtros de combustible. Los residuos líquidos y sólidos no efluentes son almacenados por el generador en contenedores destinados a tal fin; para luego ser transportados y proceder a su disposición final (YPF Boxes, 2020).



Foto 5. Taller de lubricación. *Fuente: Elaboración propia.*

SERVICIO DE LAVADO DE AUTOS

En las estaciones de servicio con lavadero de autos (Foto 6) se utilizan dos tipos de sistemas: manual y automático.

El lavado manual incluye generalmente lavado de carrocería, chasis y motores, se realiza a mano o con sistemas a presión. Dentro del lavado automático existen: el lavado a vapor, y el lavado con cepillos cilíndricos; este último es el más común.

El lavado automático consiste básicamente en un prelavado con detergente y desengrasante; un lavado principal con detergente y escobilla, y el enjuague final.

El agua residual de lavado de automóviles contiene restos de combustibles, aceites lubricantes, detergentes y ceras. Estas son evacuadas al colector cloacal o conducto pluvial; con previo tratamiento.



Foto 6. Lavadero. Fuente: Elaboración propia.

MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES: PLAYA, TALLER Y LAVADERO

La playa de abastecimiento de combustibles, taller y lavadero, poseen un sistema de alcantarillas (Foto 7) que tienen la finalidad de recoger los derrames de combustibles y aceites que puedan ocurrir durante las maniobras de carga de los mismos. Estos sistemas de alcantarilla confluyen en un sistema de piletas o cámaras de tratamiento donde los contaminantes son retenidos evitando que sean arrastrados con los efluentes del lugar por el agua que entra en el sistema debido a las lluvias ocasionales, o la limpieza de las instalaciones. Algunas estaciones, en vez de este sistema, sólo poseen una fosa subterránea que almacena estos líquidos para que luego sean retirados por camiones de alto vacío y llevados a otras instalaciones para su tratamiento y/o disposición final.



Foto 7. Rejillas perimetrales. *Fuente: Elaboración propia.*

3. PRINCIPALES CONTAMINANTES

Una sustancia es considerada un contaminante cuando se produce en grandes cantidades, su entrada en el ambiente es probable, presenta tendencia a la dispersión, es persistente, tiene tendencia a la bioacumulación y/o presenta efectos tóxicos u otros relacionados.

Los contaminantes se pueden clasificar según la fuente (primarios o secundarios), el tipo de agente (físico, químico o biológico), la naturaleza química (inorgánicos u orgánicos), los efectos (directos o indirectos), el compartimento que afecten (suelo, agua, aire, biota, etc.), la forma de emisión (sólidos, gaseosos o líquidos), la forma de vertido (controlado o no controlado) y la escala de contaminación (local, regional o global) (Manahan, S., 2007; Ríos, S. y Katusich, O., 2019).

DISTRIBUCIÓN DE CONTAMINANTES

La distribución de los contaminantes en el medio ambiente (Figura 3) depende de factores como la presión de vapor (P), la solubilidad en agua (S), la constante de sorción en suelo/sedimento (K) y las constantes de reparto; entre el aire ($K_{s/a}$), el agua ($K_{a/w}$), la fase sólida ($K_{s/w}$) y la biota/humanos ($K_{o/w}$).

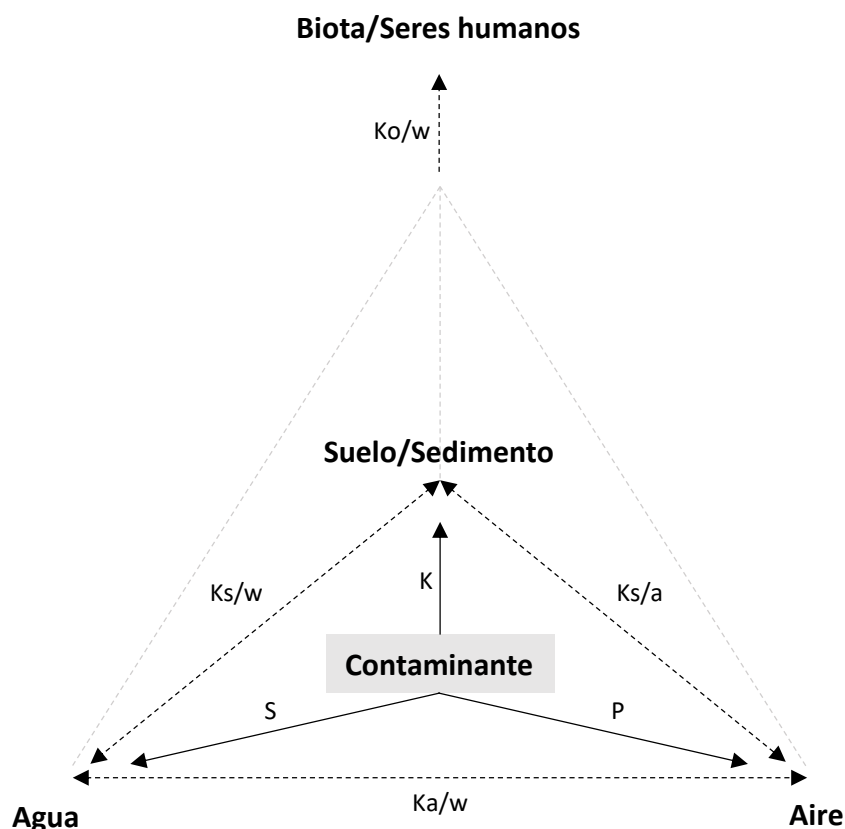


Figura 3. Factores determinantes de la distribución de contaminantes en el medio ambiente. *Fuente: Elaboración propia.*

En la Tabla 7 se muestra la distribución de los contaminantes de las estaciones de servicio según los compartimentos que pueden verse afectados.

Compartimento	Contaminantes		
	Líquidos	Sólidos	Gaseosos
Aire		Material particulado Hidrocarburos	Hidrocarburos volátiles
Agua	Hidrocarburos Grasas y aceites Detergentes Aditivos	Sólidos suspendidos	-
Suelo/Sedimento	Hidrocarburos Grasas y aceites Detergentes Aditivos	Sólidos sedimentables y residuos contaminados	-
Biota Seres humanos	Hidrocarburos Grasas y aceites Detergentes Aditivos	-	Hidrocarburos volátiles

Tabla 7. Distribución de los principales contaminantes en estaciones de servicio. *Fuente: Elaboración propia.*

CONTAMINANTES LÍQUIDOS

Los residuos líquidos en las estaciones de servicio se generan en las operaciones de lavado de pisos de la playa de surtidores, derrames y pérdidas de combustibles, durante llenado de tanques subterráneos de almacenamiento y tanques de automóviles, mantenimiento y lavado de los mismos y aguas de lluvia.

Los principales contaminantes son los restos de hidrocarburos, grasas y aceites y detergentes. Compuestos oxigenados (MTBE), compuestos inorgánicos (halógenos) y metales pueden estar presentes como aditivos en concentraciones insignificantes pero son considerados por sus potenciales efectos; estos son agregados en el proceso de mezcla y refinado del petróleo crudo en la elaboración de combustibles líquidos y aceites lubricantes.

CONTAMINANTES SÓLIDOS

Los principales residuos sólidos que se generan en las estaciones de servicio son aquellos que se encuentran en contacto con combustibles líquidos o aceites lubricantes, es decir, contaminados con hidrocarburos.

Proviene de la limpieza de los tanques de almacenamiento de combustibles y de los equipos de almacenamiento y transporte, de la limpieza de playas de surtidores, mantenimiento del taller o lavadero y de los sistemas de tratamiento.

Los residuos voluminosos son separados y almacenados para su disposición final. Los demás pueden estar presentes como sólidos suspendidos o sólidos sedimentables.

Por otra parte, teniendo en cuenta la composición de los combustibles líquidos, los hidrocarburos no volátiles y óxidos de azufre pueden estar presentes en el material particulado emitido a la atmósfera durante la descarga de combustibles y expendio a los automóviles.

CONTAMINANTES GASEOSOS

Los principales contaminantes gaseosos son los compuestos orgánicos volátiles producto de la evaporación de hidrocarburos presentes en los combustibles líquidos.

En general, presentan cadenas con un número de carbonos de dos a doce y contienen otros elementos como oxígeno, flúor, cloro, bromo, azufre o nitrógeno.

Los más abundantes son los BTEX: benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos (Figura 4), contaminan la atmósfera y pueden ser perjudiciales para la salud de los seres humanos. En conjunto con los óxidos de nitrógeno y la luz solar, son precursores del ozono troposférico.

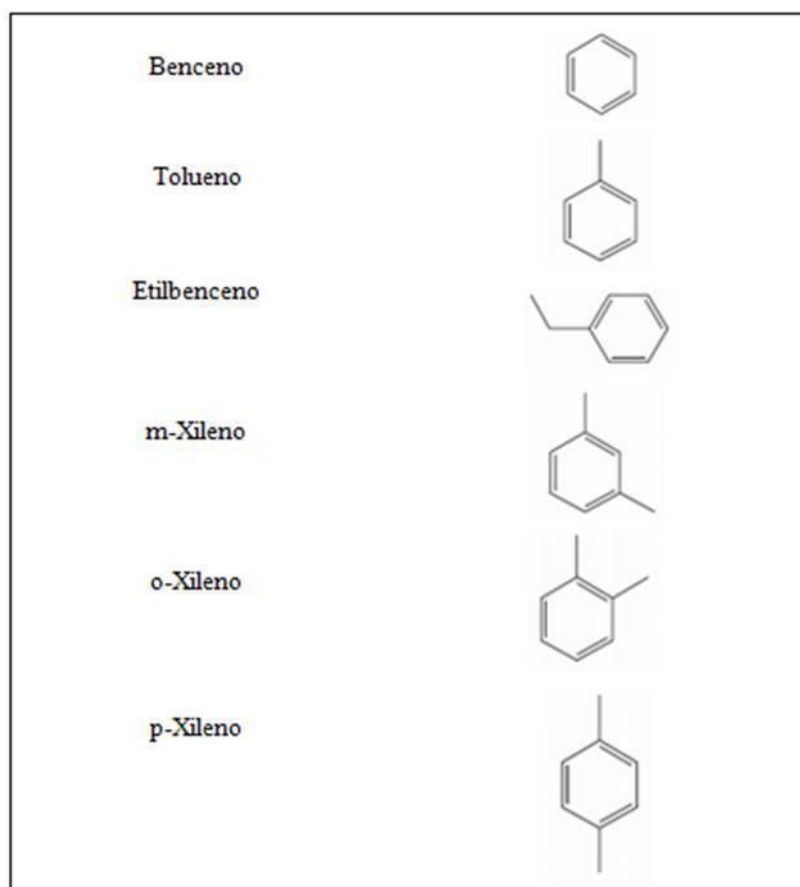


Figura 4. Estructuras químicas del grupo BTEX. Fuente: Elaboración propia usando Molinspiration.

Estos vapores alcanzan el medio durante el llenado y respiración de los tanques subterráneos de almacenamiento de combustible y durante el llenado de los tanques de los automóviles por pérdidas accidentales.

LLENADO DE TANQUES SUBTERRANEOS DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES

La mayor fuente de emisiones es el llenado de los tanques subterráneos. Estas se generan cuando los vapores en el tanque son desplazados a la atmósfera por el combustible que está siendo descargado.

La cantidad de emisiones depende de varios factores: el método y tasa de llenado, la configuración del tanque y la temperatura, presión de vapor y composición del combustible.

La respiración de tanques subterráneos es otra de las fuentes de emisión. Ocurren diariamente y son atribuibles a cambios en la presión barométrica.

Finalmente se producen emisiones por derrames de combustibles debido a rebases, chorreo de mangueras o circunstancias operativas.

Las emisiones en las estaciones de servicio son producidas por las propiedades fisicoquímicas de las naftas. El diésel, al tener presiones de vapor muy bajas, no evapora considerablemente (CONAMA, 2001).

LLENADO DE TANQUES DE AUTOMÓVILES

Las emisiones se producen por dos procesos: desplazamiento de vapores desde el tanque del automóvil por el combustible cargado; y por derrames.

La cantidad de vapores desplazados depende de varios factores como la temperatura del combustible y el tanque, la presión de vapor del combustible, y la tasa de llenado del tanque.

Las pérdidas por derrame dependen de varios factores incluyendo el tipo de estación de servicio, la configuración del tanque del vehículo y la técnica del operador (CONAMA, 2001).

4. EFECTOS

En esta sección se abordarán los posibles efectos de los contaminantes una vez que ingresan al medio ambiente, las consecuencias en el aire, el agua, el suelo; y al entrar en contacto con la biota y los seres humanos.

EFECTOS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE

Las consecuencias de la presencia de los combustibles líquidos y aceites lubricantes en el medio ambiente son principalmente por los hidrocarburos y aditivos que los componen.

ALTERACIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE

Los hidrocarburos más livianos, con menos de doce carbonos, se evaporan rápidamente y fotooxidan por reacción con los radicales hidroxilos.

En la atmósfera se produce la descomposición principalmente por fototransformación indirecta; no hay fotólisis con longitudes de onda mayores a 290 nm.

El tiempo de vida media en la troposfera oscila entre 7 y 22 días, con un valor medio de 13 días. En la troposfera inferior (hasta aproximadamente 1-2 km de altura) los valores promedio para el tiempo de vida media del benceno, por ejemplo, oscilan entre 3 y 10 días (Agencia Europea de Productos Químicos, 2021; National Library of Medicine, 2021).

EFECTO INVERNADERO Y CAMBIO CLIMÁTICO

El efecto invernadero es un efecto beneficioso para la vida en el planeta. Sin embargo, la actividad antropogénica ha incrementado desproporcionadamente la emisión de gases en un tiempo muy corto. Estas concentraciones por encima de las normales traen como consecuencia un fenómeno perjudicial, principalmente el aumento de la temperatura global y desencadenando efectos de colapso en las corrientes marinas, los movimientos atmosféricos y en las dinámicas terrestres, conocido como cambio climático (RANF, 2013).

Los principales gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera terrestre son el vapor de agua (H₂O), el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O) y el ozono (O₃). Si bien estos gases tienen origen natural, como dijimos lo perjudicial es su aumento por actividades humanas. Los combustibles líquidos y aceites lubricantes poseen en su composición compuestos tales que dan lugar a su formación y consecuente aumento.

FORMACIÓN DE OZONO TROPOSFÉRICO Y ÓXIDOS DE NITRÓGENO

El ozono troposférico se forma en la atmósfera por un proceso fotocatalítico complejo en el que participan principalmente los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles.

El origen de estos contaminantes primarios puede ser natural o antropogénico, pero cuanto más actividad antropogénica generadora, mayor es el desequilibrio que producen en la troposfera.

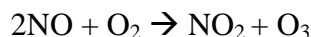
En el verano se producen las condiciones más favorables para la formación de ozono, debido a la incidencia solar.

La Figura 5 resume cómo interactúan los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles en la atmósfera.

Las reacciones químicas por las que se genera (1 y 2) y también se destruye el ozono (3), sin efecto de la luz solar son las siguientes:

- 1) $\text{NO}_2 \rightarrow \text{NO} + \text{O}$
- 2) $\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{O}_3$
- 3) $\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$

Entre las tres reacciones existe un equilibrio dinámico de O_3 , O_2 , O y NO_x . Si las acciones antropogénicas aumentan se desplaza el equilibrio, el NO se oxida fácilmente en presencia de O_2 por su alta reactividad.



Además, los compuestos orgánicos volátiles son capaces de generar NO_2 , retirando NO de la atmósfera. El equilibrio NO/NO_2 se ve desplazado hacia la formación de NO_2 y por ende, la formación de ozono.

Si tenemos en cuenta el efecto de la luz solar y la acción de los COV, se producen las siguientes reacciones químicas, con formación de radicales libres.

- 1) $\text{NO}_2 + h\nu \rightarrow \text{NO}\cdot + \text{O}$
- 2) $\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{O}_3$
- 3) $\text{NO}\cdot + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2\cdot + \text{O}_2$

- 4) $\text{COV} + h\nu \rightarrow \text{RC}\cdot\text{HOH} + \text{RCOH}$
- 5) $\text{RC}\cdot\text{HOH} + \text{O}_2 \rightarrow \text{RCOH} + \text{HOO}\cdot$

- 6) $\text{HOO}\cdot + \text{NO}\cdot \rightarrow \text{NO}_2\cdot + \text{OH}\cdot$
- 7) $\text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_2$

El ciclo inicia a partir del NO_2 emitido y cierra por formación de más NO_2 a partir de la reacción (3) y principalmente la (6) que proviene de la descomposición catalítica de los COV (4), formando NO_2 muy reactivo (RANF, 2013).

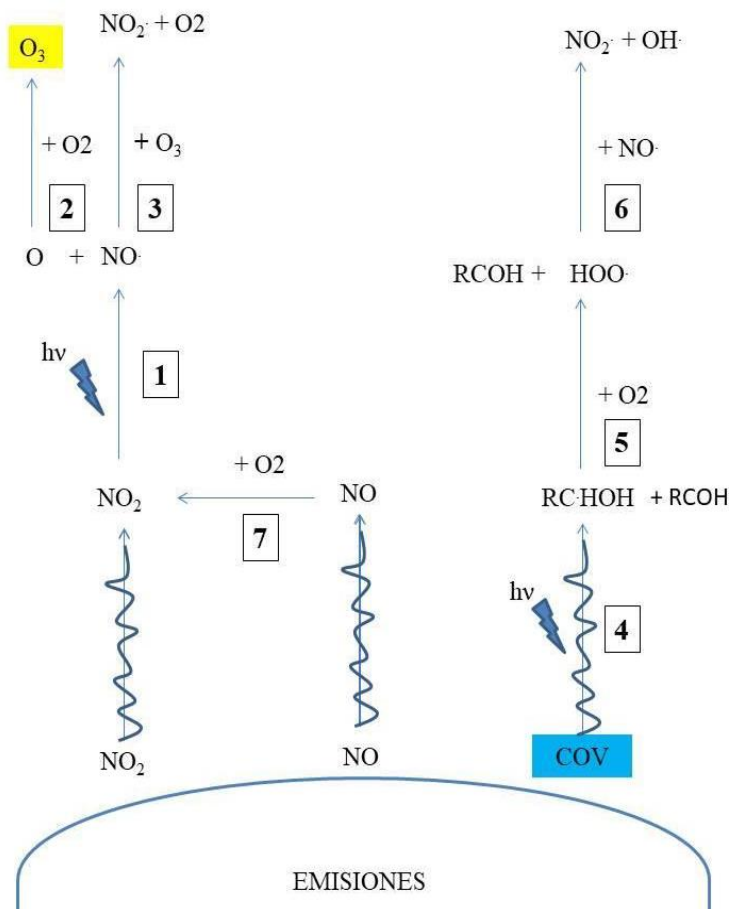


Figura 5. Reacciones químicas generadas a partir de las emisiones gaseosas de NO_x y COV.

Fuente: Elaboración propia, tomando como base RANF, 2013.

CONTAMINACIÓN DE AGUAS

Liberados en el agua los combustibles líquidos por sus densidades entre 0,73 y 0,83 g/mL flotan y se separan y aunque son muy poco solubles en agua, los componentes más solubles podrán disolverse y dispersarse.

La fracción aromática es muy tóxica debido a su relativa solubilidad y toxicidad acuática (Agencia Europea de Productos Químicos, 2021; National Library of Medicine, 2021).

Presenta un potencial de contaminación física importante para las costas debido a su flotabilidad en agua.

CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y SEDIMENTOS

Los hidrocarburos más pesados también pueden estar sujetos a fotooxidación pero lo normal es que sean sorbidos por el suelo o sedimentos.

En suelos y sedimentos, bajo condiciones aeróbicas, la mayoría de los componentes del combustible están sujetos a procesos de biodegradación, siendo en condiciones anaerobias más persistente.

Los microorganismos presentes en los suelos y sedimentos son capaces de degradar los constituyentes de mayor peso molecular de las naftas (Barrionuevo Castro, Y. *et al.*, 2014; ATSDR, 2020).

EFFECTOS SOBRE LA BIOTA

Los combustibles líquidos pueden provocar efectos negativos sobre los organismos acuáticos. Por su baja solubilidad en agua los hidrocarburos forman una película sobre la superficie que impide la transferencia de oxígeno, provocando la muerte de animales y plantas.

El log Ko/w del combustible diesel es mayor a 3,5 por lo tanto, su liposolubilidad le confiere el potencial de bioacumularse (National Library of Medicine, 2021). Sin embargo, el metabolismo de los organismos acuáticos de estos compuestos a 1,2-dihidroxi-1,2-dihidrobenceno y pirocatecol; y en el caso de los mamíferos a fenol e hidroquinona (Figura 6) es capaz de reducir la bioconcentración o limitar la biodisponibilidad (Moreno Grau, M., 2003; Barrionuevo Castro, Y. *et al.*, 2014; ATSDR, 2020).

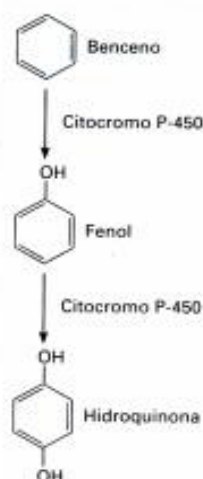


Figura 6. Conversión metabólica del benceno en fenol e hidroquinona. *Fuente:* Moreno Grau, M., 2003.

EFFECTOS SOBRE LA SALUD HUMANA

Toxicidad es la característica que identifica a aquellos residuos o a sus productos metabólicos que poseen la capacidad de, a determinadas dosis, provocar por su acción un daño en la salud, funcional u orgánica, reversible o irreversible, luego de estar en contacto o de haber penetrado en el organismo por diferentes vías.

Hablamos de toxicidad aguda cuando el efecto se manifiesta luego de una única administración, subaguda o subcrónica si el efecto se manifiesta luego de la administración o contacto durante un período limitado, entre 1 a 3 meses y crónica el efecto durará períodos mucho más prolongados (Diaz, M. y Blasetti, H., 2020).

Las principales vías de ingreso de los combustibles líquidos y aceites lubricantes son la respiratoria, dérmica y a través de las mucosas.

Por lo tanto, según el tiempo de exposición, la persona afectada puede presentar efectos agudos, subagudos, también llamados subcrónicos o crónicos.

Los efectos agudos incluyen irritación en nariz, garganta y pulmonar, dérmica u ocular, también puede presentarse neumonía química. A largo plazo, se consideran probables mutagénicos (capaces de provocar mutaciones en el material genético de las células somáticas o germinales) y/o carcinógenos (Albiano, N. y Villamil, E., 2015; IARC, 2020).

La Tabla 8 indica la dosis letal media (DL₅₀) de los combustibles líquidos, definida como la dosis o concentración presente en el ambiente que una vez que ingresa al organismo es capaz de matar al 50% de los individuos expuestos, en un determinado periodo de tiempo.

Combustible	DL50 (ppm)
Nafta	> 2000
Diesel	> 5000

Tabla 8. Datos toxicológicos de los combustibles líquidos. Referencia DL₅₀: Dosis letal 50. Fuente: Axion Energy Gas Oil, 2020; Axion Energy Naftas; YPF Diesel, 2020; YPF Nafta, 2020; National Library of Medicine, 2021.

Los BTEX, parte de la composición de los combustibles líquidos, son algunos de los responsables de los síntomas que se observan frente a exposiciones agudas o crónicas como se muestra en la Tabla 9.

Compuesto	Exposición aguda	Exposición crónica	Órgano blanco
Benceno	Depresor del SNC	Aplasia medular Leucemia	Médula ósea
Tolueno	Depresor del SNC	Hepatopatías Tubulopatías Ataxia Temblores Alteración del comportamiento Polineuropatías	Hígado Riñón SNC SNP
Etilbenceno	Depresor del SNC Irritación pulmonar y ocular Dermatitis	Temblores Alteración del comportamiento Polineuropatías Hepatopatías Cáncer	SNC SNP Hígado Sangre
Xileno	Depresor del SNC	Disfunción neuroconductual (cefalea, pérdida de memoria, falta de concentración) Dermatitis	SNC Piel

Tabla 9. Efectos toxicológicos del grupo BTEX. Referencias SNC: Sistema nervioso central, SNP: Sistema nervioso periférico. Fuente: Albiano, 2015.

FENOL

Los combustibles líquidos y aceites lubricantes al entrar al medio ambiente son degradados a otros compuestos secundarios potencialmente peligrosos para la biota y los seres humanos, un ejemplo importante es la formación de fenol.

El fenol en el aire es degradado rápidamente (1-2 días), en suelo es degradado por microorganismos y en agua puede permanecer durante semanas.

Las principales vías de ingreso son la ingestión y el contacto con la piel de animales y humanos. En menor medida la inhalación. Los principales efectos agudos que se observan son irritación digestiva, dérmica (ampollas y quemaduras) y respiratoria. La exposición prolongada produce daño cardíaco, renal y hepático. Existe evidencia que en animales expuestos durante mucho tiempo produce temblores musculares, dificultad para caminar e incluso la muerte (ATSDR, 2021).

5. LEGISLACIÓN

Las actividades que se llevan a cabo en las estaciones de servicio deberán garantizar el cumplimiento de la legislación ambiental en sus diferentes niveles; nacional, provincial y municipal.

La Tabla 10 resume la legislación aplicada al caso de estudio.

LEGISLACIÓN AMBIENTAL	
Nacional	Constitución Nacional: Artículos N° 41, 42 y 43. Código Civil y Comercial: Artículos N° 14, 240, 241, 1757 y 1758. Ley N° 25.675: General del ambiente. Ley N° 25.612: Gestión integral de residuos industriales y actividades de servicio. Ley N° 24.051, Decreto 831/93: Residuos peligrosos. Ley N° 25.688: Gestión ambiental de aguas. Ley N° 22.428: Fomento a la conservación de los suelos. Ley N° 20.284: Preservación de los recursos del aire. Ley N° 25.438: Protocolo de Kyoto sobre cambio climático. Ley N° 27.520: Adaptación y mitigación al cambio climático global. Ley N° 17.319: Hidrocarburos. Decreto Nacional N° 2.407/1983: Normas de seguridad para el expendio de combustible por surtidor. Resolución N° 419/1993: Registro de empresas auditoras de seguridad. Resolución N° 6/1998: Registro de empresas petroleras. Resolución N° 79/1999: Registro de expendio de combustibles líquidos y bocas de expendio. Resolución N° 25/2000: Registro de contratos. Resolución N° 1102/2004: Registro de bocas de expendio de combustibles. Complementos y modificatorias. Ley N° 5.965: Ley de protección a las fuentes de provisión y a los cursos y cuerpos receptores de agua y a la atmósfera - Decreto N° 1704 (Buenos Aires)
Provincial	Constitución Provincial: Artículos 109,110, 111 y 233. Ley XI N° 35: Código ambiental. Ley XVII N° 53: Código de aguas. Ley N° 1503, Decretos N° 2099/77 y 1402/83: Protección de las aguas y de la atmósfera. Ley N° 3742, Decreto N° 1675/93 Residuos peligrosos. Ley XVII N° 17: Conservación de suelos. Decreto N° 1540: Reglamentación del Código ambiental. Complementos y modificatorias.
Municipal	Carta orgánica: Preámbulo, artículo 14, 16, 30, 31 y 73. Ordenanza N° 5594/95: Ambiente. Ordenanza N° 7060/00: Evaluación de impacto ambiental. Ordenanza N° 7002/00: Residuos peligrosos. Ordenanza N° 7283/00: Residuos peligrosos. Ordenanza N° 3779-3/02: Efluentes industriales. Ordenanza N° 8095/04: Ambiente. Complementos y modificatorias.

Tabla 10. Resumen legislación ambiental aplicada a estaciones de servicio. *Fuente: Elaboración propia.*

LEGISLACIÓN NACIONAL

Constitución Nacional

La Constitución Nacional en su artículo 41 establece el derecho de todos los habitantes a gozar de un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y sus actividades; hace hincapié en el deber de preservarlo y en caso de daño, recomponerlo. Compromete a las autoridades a la protección del derecho, la información y educación, a dictar normas que contengan los presupuestos mínimos para lograrlo. Deja en claro la prohibición de ingreso al territorio nacional de residuos peligrosos y radiactivos. Su artículo 42 refiere al derecho de consumidores y usuarios de bienes y servicios de protección para su salud y seguridad, estableciendo las autoridades los procedimientos eficaces para asegurarlos, sea preventivamente o solucionando conflictos. Por último, su artículo 43 enuncia el derecho de toda persona a presentar acción de amparo, en forma expedita y rápida en contra de todo acto u omisión de autoridades públicas o de particulares, que en forma actual o inminente lesione, restrinja, altere o amenace, con arbitrariedad o ilegalidad manifiesta, los derechos y garantías referidos al ambiente.

Código Civil y Comercial

El Código Civil y Comercial, artículo 14, vela por los derechos individuales y de incidencia colectiva; en su artículo 240 establece los límites al ejercicio de los derechos individuales sobre los bienes y su compatibilidad con los derechos de incidencia colectiva. En cuanto al ambiente se refiere, no deben afectar el funcionamiento ni la sustentabilidad de los ecosistemas de la flora, la fauna, la biodiversidad, el agua, los valores culturales y el paisaje, entre otros. El artículo 241 marca que cualquiera sea la jurisdicción en que se ejerzan los derechos, debe respetarse la normativa sobre presupuestos mínimos que resulte aplicable. Por otra parte, el artículo 1757 y 1758 indican la responsabilidad objetiva implicadas en la actividad y el manejo de sustancias riesgosas o peligrosas por su naturaleza y el posible daño.

Ley General del ambiente

Ley N° 25.675 (2002)

La Ley General establece los presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sustentable. Además, aborda los siguientes temas: Principios de la política ambiental. Competencia judicial. Instrumentos de política y gestión. Ordenamiento ambiental. Evaluación de impacto ambiental. Educación e información. Participación ciudadana. Seguro ambiental y fondo de restauración. Sistema Federal Ambiental. Ratificación de acuerdos federales. Autogestión. Daño ambiental. Fondo de Compensación Ambiental.

Ley de Gestión integral de residuos industriales y actividades de servicio

Ley N° 25.612 (2002)

Esta Ley trata sobre la gestión integral de residuos de origen industrial y de actividades de

servicio, que sean generados en todo el territorio nacional, y sean derivados de procesos industriales o de actividades de servicios. Además, incluye temas como Transportistas. Plantas de Tratamiento y disposición final. Responsabilidad civil. Responsabilidad administrativa. Jurisdicción. Autoridad de aplicación. Disposiciones complementarias. Niveles de riesgo. Generadores. Tecnologías. Registros. Manifiesto.

Ley de Residuos peligrosos

Ley N° 24.051 (1991)

Respecto a residuos peligrosos esta norma trata sobre el ámbito de aplicación y disposiciones generales. Registro de Generadores y Operadores. Manifiesto. Generadores. Transportistas. Plantas de Tratamiento y disposición final. Responsabilidades. Infracciones y sanciones. Régimen penal. Autoridad de Aplicación. Disposiciones Complementarias.

En su Anexo II identifica las corrientes de desechos.

El Decreto N° 831/93 reglamenta esta Ley.

En este decreto se establecen los niveles guías de calidad de contaminantes en los diferentes compartimentos ambientales (agua, suelo y aire) y estándares de emisiones gaseosas, entre otros temas.

Ley de Gestión ambiental de aguas

Ley N° 25.688 (2002)

La Ley de Gestión establece los presupuestos mínimos ambientales, para la preservación de las aguas, su aprovechamiento y uso racional. Se consideran la utilización de las aguas. Cuenca hídrica superficial. Comités de cuencas hídricas.

Ley de Fomento a la conservación de los suelos

Ley N° 22.428 (1981)

Esta ley proclama el régimen legal para el fomento de la acción privada y pública tendiente a la conservación y recuperación de la capacidad productiva de los suelos.

Ley de Preservación de los recursos del aire

Ley N° 20.284 (1973)

En esta Ley se dicta el plan de prevención de situaciones críticas de contaminación atmosférica.

Protocolo de Kyoto sobre cambio climático

Ley N° 25.438 (2001)

Esta Ley aprueba el protocolo de la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático, adoptado en Kyoto-Japón.

Ley de Adaptación y mitigación al cambio climático global

Ley N° 27.520 (2019)

El Gabinete Nacional de cambio climático a través de esta Ley establece los presupuestos mínimos de protección ambiental para garantizar acciones, instrumentos y estrategias adecuadas en todo el territorio nacional; plantea cuáles son los objetivos a cumplir; define la autoridad de aplicación y los integrantes del Gabinete y Consejo Asesor. Aborda la elaboración, coordinación, instrumentos y finalidad del Plan Nacional; refiere las medidas y acciones tanto de adaptación como mitigación y acentúa la importancia de la participación e información al respecto.

Ley de Hidrocarburos

Ley N° 17.319 (1967)

La Ley de Hidrocarburos describe la reglamentación relativa a las actividades de explotación, industrialización, transporte y comercialización de los mismos; los derechos y obligaciones principales.

Normas de seguridad para el expendio de combustible por surtidor

Decreto Nacional N° 2.407/1983

En este Decreto la Secretaría de Energía aprueba la reglamentación de seguridad aplicable al suministro de combustibles por surtidor en estaciones de servicio y bocas de expendio; las disposiciones generales, responsabilidad sobre las instalaciones y equipos, prohibiciones, prevención de incendios y combate del fuego en caso de incidentes, control de pérdidas, maniobras de recepción, almacenamiento de combustibles y suministro al usuario.

Registro de empresas auditoras de seguridad.

Resolución N° 419 (1993)

En la presente resolución se crea el registro de empresas auditoras en almacenamientos, bocas de expendio de combustibles, plantas de fraccionamiento de G.L.P. y refinerías de petróleo a fin de asegurar la seguridad en las actividades del caso.

Registro de empresas petroleras

Resolución N° 6 (1998)

En esta resolución la Secretaría de Energía establece la creación del registro de empresas petroleras que operan en la importación de combustibles líquidos, aquellas que distribuyen a las estaciones de servicios.

Registro de expendio de combustibles líquidos y bocas de expendio

Resolución N° 79 (1999)

Crea el registro de expendio de combustibles líquidos y bocas de expendio de fraccionadores y revendedores de combustibles a grandes consumidores. Menciona los objetivos y las penalidades de incumplimiento.

Registro de contratos

Resolución N° 25 (2000)

Se crea el registro de contratos que regula la relación entre compañías proveedoras de combustibles líquidos y empresarios operadores de bocas de expendio de combustibles.

Registro de bocas de expendio de combustibles líquidos

Resolución N° 1102 (2004)

La Secretaría de Energía exige la creación de un registro de expendedores de combustibles líquidos, consumo propio, almacenadores, distribuidores y comercializadores, dentro del cual se incluyen las estaciones de servicios. Establece los requisitos de inscripción, la instalación de tanques de almacenamiento, las penalidades por incumplimiento y las empresas auditoras de seguridad, entre otras.

Protección a las fuentes de provisión y a los cursos y cuerpos receptores de agua y a la atmósfera

Ley N° 5.965 (1958)

Esta Ley fue sancionada para la Provincia de Buenos Aires y reglamentada por el Decreto N° 1704 (2018).

LEGISLACIÓN PROVINCIAL

Constitución Provincial (1994)

En el capítulo XI de la Constitución Provincial se establecen lineamientos específicos aplicables a medio ambiente. Su artículo 109 hace referencia a la integridad, es decir, el derecho a un medio ambiente sano que asegure la dignidad de su vida y su bienestar y el deber de su conservación. El rol del Estado en esta tarea, dictando leyes, imponiendo sanciones y exigiendo reparación frente a daños. El artículo 110 acerca de las prohibiciones de introducción, transporte y depósito de residuos de origen extra provincial radioactivo, tóxico, peligroso o susceptible de serlo; la fabricación, importación, tenencia o uso de armas nucleares, biológicas o químicas y la realización de ensayos y experimentos de la misma índole con fines bélicos. En caso de deterioro al ambiente o violación de lo anteriormente expuesto el artículo 111 establece el derecho a interponer acción de amparo ambiental. Por último, su artículo 233 dicta la competencia de las municipalidades y comisiones para reglamentar, en el marco de sus atribuciones, las cuestiones vinculadas con la protección del medio ambiente.

Código Ambiental

Ley XI N°35

El presente Código tiene por objeto la preservación, conservación, defensa y mejoramiento del ambiente de la Provincia, estableciendo los principios rectores del desarrollo sustentable y propiciando las acciones a los fines de asegurar la dinámica de los ecosistemas existentes, la

óptima calidad del ambiente, el sostenimiento de la diversidad biológica y los recursos escénicos para sus habitantes y las generaciones futuras.

Esta Ley es reglamentada por el Decreto N° 1540.

Código de Aguas

Ley XVII N° 53

Este código establece que el Estado provincial promoverá todo lo necesario para el estudio, administración, aprovechamiento, control, conservación y preservación del recurso hídrico en el territorio provincial, en función del interés general y cuidando de mantener un adecuado equilibrio con la naturaleza y la armonía con el uso de los demás recursos naturales.

Ley de la Protección de las aguas y de la atmósfera

Ley 1503 (1977)

Esta ley establece medidas para la preservación de las condiciones naturales de las aguas – superficiales y subterráneas -y del aire, y la lucha contra la polución de los mismos, declarando obligatoria la adopción en todo el territorio de la Provincia.

Los Decretos N° 2099/77 y N° 1402/83 reglamentan esta Ley.

Ley de Residuos Peligrosos

Ley 3742 (1992)

Esta Ley adhiere a los términos de la Ley Nacional N° 24.051 que regula la generación, manipulación, transporte y disposición final de residuos peligrosos, la que tendrá vigencia en el territorio de la Provincia del Chubut.

El Decreto N° 1675/93 reglamenta esta Ley.

Ley de Conservación de suelos

Ley XVII N°17.

Esta Ley adhiere a la Provincia a los términos establecidos en la Ley Nacional N° 22.428, fomentando las acciones de conservación y recuperación de los suelos.

LEGISLACIÓN MUNICIPAL

Carta orgánica

En su preámbulo se promueve el cuidado del medio ambiente. Su artículo 14 establece que los vecinos gozan del derecho a un ambiente sano y su artículo 16 que deberán preservarlo, evitando su contaminación, participando en la defensa ecológica de la Ciudad y reparando los daños causados.

El artículo 30 dispone que son facultades del Municipio coordinar políticas de tránsito mediante principios de circulación de vehículos y peatones basados en la fluidez, la promoción de la seguridad vial, la salud humana, la calidad y eficiencia y promover la actividad turística, como factor de desarrollo económico, social y cultural, preservando el medio ambiente en todos los casos.

Su artículo 31, específicamente habla de ambiente, describe que el Municipio debe procurar para los vecinos un ambiente sano y equilibrado que asegure la satisfacción de las necesidades presentes, sin comprometer las de generaciones futuras. Desarrolla una política de planeamiento y gestión del ambiente urbano integrada a las políticas de desarrollo económico, social y cultural. Instrumenta un proceso de ordenamiento territorial y ambiental participativo y permanente que propende a:

1. Proteger el ecosistema humano, natural y biológico, y en especial el aire, el agua, el suelo y el subsuelo; eliminar o evitar todos los elementos contaminantes no aceptables que puedan afectarlo. El daño ambiental genera prioritariamente la obligación de recomponer según lo establezca la legislación.
2. Efectuar la evaluación del impacto ambiental y social de proyectos públicos y privados de envergadura. En caso de obras que afecten el ambiente, las normas deben poner límites temporales para su solución. Asimismo se deben crear órganos de control municipal y prever la realización de audiencias públicas.
3. Efectuar el control sanitario de los productos de consumo humano y ejercer vigilancia sobre la cadena alimentaria, desde su producción hasta su comercialización y consumo.
4. Preservar con carácter primordial los espacios que contribuyan a mantener el equilibrio ecológico de la Ciudad.
5. Incluir en los planes de estudios la educación ambiental.

Por último, su artículo 73 atribuye al Consejo Deliberante la facultad de dictar el código ambiental.

Ordenanza N° 5594/95

Instrumenta los medios para prevenir la contaminación ambiental dentro de los límites establecidos (ejido de Comodoro Rivadavia) tipificando sus principales y más perjudiciales formas, prohibiendo las emisiones contaminantes, estableciendo controles y estipulando sanciones y penalidades para las infracciones que en tal sentido se cometan.

Ordenanza N° 7060/00

En su artículo 1 determina el procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental, regula toda actividad que se considere necesaria para el logro de los objetivos ambientales consagrados por la Carta Orgánica Municipal con el fin de mejorar y preservar la calidad del aire, suelo y agua. El artículo 14 categoriza las estaciones de expendio de combustible a pequeña escala como actividad de mediano impacto ambiental.

Ordenanza N° 7002/00

Esta Ordenanza resalta la importancia de crear un registro de generadores y operadores de residuos peligrosos y dentro de él un anexo especial destinado al registro de personas físicas o jurídicas que realicen cambio de lubricantes, así como la manipulación, tratamiento y/o transporte de los residuos productos de esa actividad.

Ordenanza N° 7283/00

Esta Ordenanza categoriza los residuos peligrosos y su gestión.

Ordenanza N° 3779-3/02

Esta ordenanza regula el camino crítico de los efluentes industriales y establece los límites de emisión de contaminantes a diferentes tipos de receptores.

Ordenanza N° 8095/04

La Ordenanza General del Ambiente plantea como objeto la preservación, conservación, defensa y mejoramiento del ambiente del Municipio de Comodoro Rivadavia.

La legislación Nacional se consultó en la página web de Información Legislativa (INFOLEG), la legislación Provincial en la Honorable Legislatura y el Ministerio de Ambiente de Chubut y la legislación Municipal a través de la Subsecretaría de Medio Ambiente de Comodoro Rivadavia.

LÍMITES ADMISIBLES

EFLUENTES LÍQUIDOS

La Ordenanza Municipal N° 3779-3/02 establece las condiciones que deberán cumplir los efluentes líquidos industriales acondicionados para ser vertidos a la red cloacal, conductor pluvial, cuerpo de agua superficial o mar abierto. En la Tabla 11 se muestran los límites de emisión de contaminantes.

LÍMITES DE EMISIÓN DE CONTAMINANTES ^(a)				
Parámetro	Unidad	Receptores		
		Colector cloacal	Conductor pluvial o cuerpo de agua superficial	Mar abierto
pH		5,5-9	5,5-9	5,5-9
Temperatura	°C	≤35	≤35	≤35
Sustancias solubles en éter etílico (SSEE)	mg/L	≤100,0	≤50,0	≤50,0
Sólidos sedimentables en 10 minutos (SS 10')	mL/L	Ausente ^(b)	Ausente ^(b)	Ausente ^(b)

Sólidos sedimentables en 2 horas (SS 2 h)	mL/L	=5,0	=1,0	=5,0
Sólidos en suspensión (Ss)	mg/L	=100,0	=50,0	=50,0
Demanda química de oxígeno (DQO) ^(d)	mg/L	=700,0	=250,0	=500,0
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅) ^(d)	mg/L	=200,0 ^(e)	=50,0	=20,0
Cianuro	mg/L	=0,1	=0,1	=0,1
Cromo hexavalente	mg/L	=0,2	=0,2	=0,2
Cromo total	mg/L	=1,0	=0,5	=0,5
Cadmio	mg/L	=0,1 ^(e)	=0,1	=0,1
Plomo	mg/L	=0,5 ^(e)	=0,1	=0,1
Mercurio total	mg/L	=0,02	=0,005	=0,005
Arsénico	mg/L	=0,5	=0,5	=0,5
Sustancias fenólicas	mg/L	=2,0	=0,5	=20
Sustancias reactivas al azul de metileno (SRAM)	mg/L	=5,0	=2,0	=5,0
Cloro libre	mg/L	-	0,5	<0,5
Sulfuros	mg/L	=2,0	=1,0	NE ^(c)
Hidrocarburos totales	mg/L	=15,0	=5,0	=15,0
Fósforo total	mg/L	=10,0	=10,0 ^(e)	=10,0

Tabla 11. Límites de emisión de contaminantes. Referencias: (a) Los efluentes que sean evacuados por camiones atmosféricos deberán ajustarse a los límites admisibles, según el destino final de los mismos. (b) La indicación "ausente" es equivalente a menor que el límite de detección de la técnica analítica indicada. (c) NE significa por el momento no se establecen límites permisibles. (d) En efluentes de lagunas de estabilización o aireadas, la determinación se hará sobre muestras filtradas para eliminar la influencia de algas (tamaño de poro de 0,2 micrones de celulosa) (e) La administración podrá autorizar concentraciones superiores, si el sistema colector lo admite. Esta circunstancia se establecerá mediante una disposición de la autoridad de aplicación, a pedido del interesado. *Fuente: Ordenanza Municipal N° 3779-3, 2002.*

EFLUENTES GASEOSOS

El Decreto Nacional N° 831/93, reglamentación de la Ley N° 24.051 determina los niveles guía de calidad del aire ambiental y los estándares de emisiones gaseosas. En las tablas 12 y 13, se muestran los valores para los compuestos orgánicos volátiles presentes en combustibles líquidos.

	Concentración (mg/m ³)	Período de promedio (min)
Benceno	0,2	20
Estireno	0,01	30
Tolueno	0,6	30
Xilenos	0,2	30

Tabla 12. Niveles guía de calidad del aire ambiental. *Fuente: DN N° 831, 1993.*

	Desde superficie (mg/s)
Benceno	6,40E01
Estireno	3,50E00
Tolueno	2,10E02
Xilenos	7,00E01

Tabla 13. Estándares de emisiones gaseosas. *Fuente: DN N° 831, 1993.*

En la tabla 14 se establecen los valores de límite máximo permisible, estado de alerta, estado de alarma y estado de emergencia de algunos gases y partículas según el Anexo I de la Ordenanza Municipal N° 5594/95.

Contaminante	Límite máximo permisible	Estado de alerta	Estado de alarma	Estado de emergencia
Monóxido de carbono	10 ppm (8 horas)	15 ppm (8 horas)	30 ppm (8 horas)	50 ppm (8 horas)
	50 ppm (1 hora)	100 ppm (1 hora)	120 ppm (1 hora)	150 ppm (1 hora)
Óxidos de nitrógeno (NOx)	0,45 ppm (1 hora)	0,6 ppm (1 hora)	1,2 ppm (1 hora)	
		0,15 ppm (1 día)	0,3 ppm (1 día)	0,4 ppm (1 día)
Monóxido de azufre	0,03 ppm (1 mes)			
		1 ppm (1 hora)	5 ppm (1 hora)	10 ppm (1 hora)
Ozono y oxidantes	0,1 ppm (1 hora)	0,15 ppm (1 hora)	0,25 ppm (1 hora)	0,4 ppm (1 hora)

Partículas en suspensión	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1 mes)
Partículas sedimentables	1 mg/cm^2 (1 mes)

Tabla 14. Límites de emisión a la atmósfera (Ordenanza Municipal N° 5594/95).

6. METODOLOGÍAS ANALÍTICAS

Para asegurar la obtención de una muestra representativa es necesario tener en cuenta 3 aspectos fundamentales: El diseño del plan de muestreo, la toma de muestra y su conservación. Respetando estas etapas podemos reducir la aparición de errores como pérdida de analitos, variación en la composición química de la muestra y contaminación (Acuña, A., 2019).

42

DISEÑO DE PLAN DE MUESTREO

El diseño del plan incluye la revisión de información disponible sobre el lugar.

Es importante definir los objetivos y la finalidad del estudio (en este caso, la vigilancia de los parámetros), cuáles serán los costos económicos teniendo en cuenta qué contaminante se analizará y por cuál método. Además, deberá prever si necesitará pretratamiento o conservación de la muestra de alguna forma específica. Tener un plan claro, asegurará la calidad de los resultados obtenidos.

EFLUENTES LÍQUIDOS

TOMA DE MUESTRA, CONSERVACIÓN Y ALMACENAMIENTO

El monitoreo de efluentes líquidos en Estaciones de servicio se realiza trimestralmente bajo supervisión de personal del Departamento de Industrias y Servicios (DIYS) de la Subsecretaría de Ambiente y las muestras se procesan en laboratorios acreditados. Incluye como mínimo 9 parámetros: pH, temperatura, Sustancias solubles en éter etílico (SSEE), Sólidos sedimentables en 10 minutos y en 2 horas, Demanda química de oxígeno (DQO), Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), Sustancias reactivas al azul de metileno (SRAM) e Hidrocarburos totales (DIYS, 2020)

La recolección y preservación de la muestra depende de cada determinación. La Tabla 15 resume los requisitos especiales de muestreo y manipulación teniendo en cuenta que material de botellas se puede utilizar (plástico, vidrio o fluoropolímeros; con o sin previo enjuague), el volumen mínimo requerido de muestra y la forma de preservación hasta su análisis (Baird, R. *et al.*, 2017).

Determinación	Contenedor	Volumen mínimo (mL)	Preservación
pH	P,V	50	-
Temperatura	P,V,FP	-	-
Sustancias solubles en éter etílico (SSEE)	V, boca ancha calibrado	1000	Añadir HCl o H ₂ SO ₄ hasta pH < 2; Frío < 6°C.
Sólidos sedimentables	P,V	200	Frío < 6°C.
Demanda química de oxígeno (DQO)	P, V, FP	100	Si no pudiera analizarlo inmediatamente, añadir

			H ₂ SO ₄ hasta pH < 2; Frío < 6°C.
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	P, V, FP	1000	Frío < 6°C
Cianuro	P, V, FP	1000	Analizar dentro de los 15 minutos. Añadir NaOH hasta pH > 12 si la muestra se va a almacenar; Frío < 6°C, en la oscuridad; Añadir tiosulfato si presenta cloro residual.
Cromo hexavalente y total	P, V, FP. Enjuagado con 1+1 de HNO ₃	250	Frío < 6°C pH 9.3-9.7, Usar buffer sulfato de amonio si necesita almacenarlo.
Metales (Cadmio, Plomo, Arsénico)	P, V, FP. Enjuagado con 1+1 de HNO ₃	1000	Para metales disueltos filtrar inmediatamente, Añadir HNO ₃ hasta pH < 2
Mercurio total	P, V, FP. Enjuagado con 1+1 de HNO ₃	500	Añadir HNO ₃ hasta pH < 2, Frío < 6°C.
Sustancias fenólicas	P, V, FP	500	Añadir H ₂ SO ₄ hasta pH < 2, Frío < 6°C.
Sustancias reactivas al azul de metileno (SRAM)	P, V, FP	250	Frío < 6°C
Cloro libre	P, V	500	-
Sulfuros	P, V, FP	100	Frío < 6°C Añadir 4 gotas de acetato de zinc 2N/100 mL Añadir NaOH hasta pH > 9
Hidrocarburos totales	V. Enjuagar con solvente (CCl ₄ , por ejemplo)	1000	Añadir 5 mL de HCl 1:1/1000 mL
Fósforo total	P, V, FP	100	Añadir H ₂ SO ₄ hasta pH < 2, Frío < 6°C

Tabla 15. Condiciones de muestreo y preservación. Referencias P: Plástico, V: Vidrio, FP: Fluoropolímeros (PTFE o Teflón). *Fuente: Baird, R. et al., 2017.*

Es importante tener en cuenta que se medirán el pH y la temperatura *in situ*. Estos datos son necesarios para tener las condiciones reales de toma de muestra y poder interpretar los resultados obtenidos, incluida la posible reformulación del plan de muestreo, si correspondiera.

CADENA DE CUSTODIA

Además de etiquetar la muestra adecuadamente, se elaborará un certificado de cadena de custodia que permita el seguimiento de la muestra desde la obtención hasta su procesamiento. La Figura 7 ejemplifica los datos más relevantes en la cadena de custodia de la muestra.

CADENA DE CUSTODIA N°	
Datos del solicitante del análisis	
Nombre o razón social:	CUIT:
Domicilio:	
Personal que tomó la muestra	
Apellido y nombre:	DNI:
Título habilitante:	
Datos de extracción de la muestra	
Fecha:	Hora:
Temperatura:	pH:
Datos de lugar de extracción	
Domicilio:	Coordenadas:
Detalles del sitio muestreado	
Datos ambientales	
Viento:	Humedad:
Temperatura:	
Datos de metodología de extracción	
Analitos:	
Capacidad y material de envase:	
Volumen o peso de la muestra:	
Tipo de conservación:	
Recepción de la muestra en el laboratorio	
Apellido y nombre:	
Fecha:	Hora:
Temperatura:	

Figura 7. Cadena de custodia. Fuente: Elaboración propia.

METODOLOGÍAS

La Tabla 16 describe en forma general los métodos aplicados a las determinaciones establecidas en la Ordenanza Municipal N°3779-3/02 según las normas descriptas por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), 1987; Baird, R. *et al.*, 2017.

Parámetro	Norma	Método
pH	Standard Methods (SM) 4500-H+	Electrométrico
Temperatura	SM 2550	Termométrico
Sustancias solubles en éter etílico (SSEE)	SM 5520	Soxhlet
Sólidos sedimentables en 10 minutos (SS 10')	SM 2540	Volumétrico
Sólidos sedimentables en 2 horas (SS 2 h)	SM 2540	Volumétrico
Sólidos en suspensión (Ss)	SM 2540	Gravimétrico
Demanda química de oxígeno (DQO)	SM 5220	Titulométrico
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	SM 5210	Respirométrico
Cianuro	SM 4500-CN	Titulométrico o colorimétrico.
Cromo hexavalente	SM 3500-Cr	Colorimétrico o Cromatográfico
Cromo total	SM 3500-Cr	Espectroscopía de absorción atómica
Cadmio	SM 3500-Cd	Espectroscopía de absorción atómica
Plomo	SM 3500-Pb	Espectroscopía de absorción atómica
Mercurio total	SM 3500-Hg	Espectroscopía de absorción atómica
Arsénico	SM 3500-As	Espectroscopía de absorción atómica
Sustancias fenólicas	SM 5530	Espectrofotométrico
Sustancias reactivas al azul de metileno (SRAM)	SM 5540	Espectrofotométrico
Cloro libre	SM 4500-Cl	Amperométrico
Sulfuros	SM 4500-S ²⁻	Titulométrico
Hidrocarburos totales	EPA 418.1	Espectrofotometría infrarroja
Fósforo total	SM 4500-P	Colorimétrico

Tabla 16. Normas y metodologías aplicables a las determinaciones establecidas para efluentes industriales líquidos según Ordenanza N° 3779-3/02. Referencias: **SM:** Standard Methods, **EPA:** Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. Fuente: EPA, 1987; Baird, R. *et al.*, 2017.

Mediciones realizadas *in situ*

DETERMINACIÓN DE pH

El pH es una medida de la concentración de protones o iones hidrógeno, es decir, de la acidez del medio. La determinación se realiza empleando un medidor del pH o pHmetro, calibrado y capaz de reproducir valores de pH con variaciones menores a 0,02 unidades de pH, empleando un electrodo indicador sensible a la actividad del ion hidrógeno (electrodo de vidrio) y un electrodo de referencia apropiado (calomel o plata-cloruro de plata). La determinación del pH se realiza mediante la medición de la diferencia de potencial entre el par de electrodos. Las mediciones se expresan a 25 ± 2 °C.

DETERMINACIÓN DE TEMPERATURA

La medición de temperatura se realiza utilizando un termómetro. Las variaciones de este parámetro afectan las propiedades físicoquímicas como solubilidad de sales, velocidad de transferencia de gases, sedimentación de sólidos, mediciones de pH y la conductividad eléctrica, entre otras.

Mediciones realizadas *ex situ*

DETERMINACIÓN DE SUSTANCIAS SOLUBLES EN ÉTER ETÍLICO (SSEE)

En la determinación de grasas y aceites se utiliza el método de extracción con éter etílico por Soxhlet.

Estas sustancias son separadas por filtración de la muestra líquida acidificada. Al precipitado, retenido en el filtro, se le realiza la extracción. El peso ganado en el recipiente tras la evaporación del solvente corresponde al contenido de grasas y aceites presentes en la muestra.

DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SEDIMENTABLES (SS) EN 10 MINUTOS Y 2 HORAS

Los sólidos sedimentables son aquellos que sedimentan de una suspensión en un período de tiempo definido. Se determinan por método volumétrico usando el cono Imhoff.

Los resultados se expresan en función de volumen como mL de sólidos sedimentables/L de muestra) a los 10 minutos y a las 2 horas.

DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN (SS)

Los sólidos en suspensión se determinan utilizando un método gravimétrico. Estos sólidos son retenidos por un filtro. Luego son secados en estufa a una temperatura entre 103-105°C para evaporar la totalidad del líquido y finalmente pesados para el cálculo por diferencia.

DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

La demanda química de oxígeno permite determinar el contenido de materia orgánica.

La técnica utiliza como oxidante el dicromato de potasio y se basa en determinar la diferencia entre el dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) añadido al principio y el que queda luego de una

titulación con disolución de ión ferroso (Fe^{+2}). Es decir, mide la cantidad consumida de un oxidante químico fuerte por la materia orgánica presente en la muestra analizada.

DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)

La demanda bioquímica de oxígeno representa la cantidad de oxígeno disuelto consumido por los microorganismos necesarios para degradar la materia orgánica.

Su importancia radica en poder estabilizar biológicamente la materia orgánica existente, dimensionar las distintas unidades de tratamiento, medir la eficacia de tratamientos biológicos y controlar si se cumplen los límites permitidos.

Para el cálculo de la DBO_5 , se utiliza el método respirométrico, donde se mide el oxígeno disuelto entre el primer y quinto día, a una temperatura de 20°C .

DETERMINACIÓN DE CIANURO

El cianuro en el medio acuoso puede existir como cianuro de hidrógeno (HCN), como ión (CN^-), formando sales o complejos con varios metales. El HCN es altamente tóxico para la vida acuática, se forma a partir de la reacción de hidrólisis del agua y el ión.

Tras eliminar las interferencias, el cianuro es convertido a gas HCN, destilado y absorbido en solución de NaOH. Para su determinación puede usarse un método de titulación con AgNO_3 e indicador p-dimetilaminobenzalrodanina, colorimétrico por conversión a CNCl usando cloramina-T a $\text{pH} < 8$ y añadiendo ácido piridin-barbitúrico con lectura a 575-582 nm o un electrodo ión selectivo, dependiendo de la sensibilidad requerida.

DETERMINACIÓN DE CROMO HEXAVALENTE Y TOTAL

El cromo es encontrado principalmente como mineral de hierro cromado ($\text{FeO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$). Es usado en aleaciones, galvanoplastia y pigmentos.

En aguas naturales el cromo trivalente existe como Cr^{3+} , $\text{Cr}(\text{OH})^{2+}$, $\text{Cr}(\text{OH})_2^+$ y $\text{Cr}(\text{OH})_4^-$ y el cromo hexavalente como CrO_4^{2-} y $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$.

El cromo no es esencial en plantas pero sí para animales.

Los compuestos hexavalentes son cancerígenos por inhalación y corrosivos para los tejidos.

Para determinar cromo hexavalente puede usarse el método colorimétrico usando difenilcarbazida en solución ácida con lectura entre 530-540 nm o el método cromatográfico previa reacción con un compuesto azídico. El segundo método se utiliza en efluentes líquidos industriales.

El método de espectroscopía de absorción atómica electrotermico, de llama o el método de plasma acoplado inductivamente pueden utilizarse para determinar cromo total.

DETERMINACIÓN DE CADMIO

El cadmio es utilizado en galvanoplastia, baterías, pinturas y aleaciones.

No es esencial para plantas ni animales. Es extremadamente tóxico y se acumula en riñones e hígado.

El método de preferencia para su determinación es el de espectroscopía de absorción atómica electrotrémico.

48

DETERMINACIÓN DE PLOMO

El plomo es obtenido principalmente del galeno (PbS). Es usado en baterías, municiones, soldadura, tuberías, pigmentos, insecticidas y aleaciones. También se usaba en combustibles líquidos como agente antidetonante en forma de tetraetil-plomo.

Las especies acuosas más comunes son el Pb^{2+} , hidróxidos y complejos con carbonato.

El plomo ingresa al medio acuático a través de los desperdicios de las industrias y servicios, es decir, como consecuencia de la actividad antrópica.

El plomo no es esencial para plantas ni animales. Es tóxico por ingestión.

Se puede determinar por el método de espectroscopía de absorción atómica de llamas, electrotrémico, espectrofotometría de masas, plasma acoplado o colorimétrico. La elección depende de la sensibilidad requerida.

DETERMINACIÓN DE MERCURIO

El mercurio naturalmente se puede encontrar libre, aunque la principal forma es como cinabrio (HgS). El mercurio es usado en amalgamas, espejos, lámparas, pinturas, en la fabricación de papel e instrumentos de medición como los termómetros y barómetros, y en algunos medicamentos.

Las especies acuosas más comunes son Hg^{2+} , $Hg(OH)_2^0$, Hg^0 y complejos con ligandos orgánicos.

La forma inorgánica puede estar presente en sedimentos en forma de metilmercurio $(CH_3)_2Hg$, es muy tóxica y puede bioacumularse en la cadena alimenticia de origen acuático.

No es esencial para plantas ni animales.

El método de elección para determinarlo es la absorción atómica vapor-frío.

DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO

El arsénico es utilizado en aleaciones con el plomo, en baterías y municiones. Además se usan en pesticidas y preservantes de maderas.

No es esencial en plantas pero sí lo es, en trazas, en algunos animales.

La forma predominante entre pH 3 y 7 es $H_2AsO_4^-$, y entre pH 7 y 11 es $HAsO_4^{2-}$.

Las formas acuosas $HAsO_2$ o H_3AsO_3 presentes en el medio son principalmente consecuencia

de descargas industriales. La toxicidad del arsénico depende de la forma química.

El método de elección para determinar arsénico total es la espectroscopía de absorción atómica, electrotrémica. Generalmente en aguas no contaminadas no hay presencia de las formas orgánicas pero sí de las inorgánicas como arsenito o arsenato. Otro método que puede usarse es el de plata-dietilditiocarbamato con lectura a 520 nm.

DETERMINACIÓN DE SUSTANCIAS FENÓLICAS

Los fenoles son derivados hidroxilados del benceno.

El método colorimétrico, con el reactivo 4-Aminoantipirina a pH básico y en presencia de ferricianuro de potasio con lectura a 510 nm determina fenoles, sus formas *o*- y *m*- sustituidas y homólogos superiores.

DETERMINACIÓN DE SUSTANCIAS REACTIVAS AL AZUL DE METILENO (SRAM)

Los detergentes están presentes en los efluentes líquidos principalmente por tareas de lavado de automóviles, mantenimiento de pisos del taller y playas de despacho de combustibles.

El método utilizado es espectrofotométrico. Se utiliza como reactivo el azul de metileno, su catión se combina con el anión presente en el surfactante. La intensidad del color se mide a 652 nm y es proporcional a la cantidad presente en la muestra analizada.

DETERMINACIÓN DE CLORO LIBRE

La cloración se utiliza como método para destruir o inhibir microorganismos patógenos del agua. Esta cloración puede traer efectos adversos como intensificar el sabor y olor de compuestos fenólicos, es posible la formación de compuestos carcinogénicos como el clorofomo y en combinación con compuestos aminados resulta tóxico.

El cloro se aplica al agua en forma de hipoclorito de sodio, luego por hidrólisis lo encontramos como cloro libre, ácido hipocloroso y/o ión hipoclorito. La relación de estas formas depende del pH y la temperatura.

El cloro libre reacciona fácilmente con compuestos nitrogenados formando cloroaminas, tóxicas para la vida acuática.

El método de elección para determinarlo es el amperométrico ya que no está sujeto a interferencias de color, turbidez y presencia de iones.

DETERMINACIÓN DE SULFUROS

Los sulfuros están presentes en aguas subterráneas y sedimentos, producto de la descomposición de la materia orgánica y el metabolismo bacteriano pero también pueden ser encontrados en aguas de origen industrial. La presencia de sulfuro de hidrógeno en el aire produce un olor desagradable.

En altos niveles de H₂S produce anosmia, es decir, la falta de olfato por lo que daría una falsa sensación de seguridad. Además, ataca los metales provocando corrosión.

Para su determinación puede usarse el método de titulación iodométrico o de azul de metileno, previa destilación.

DETERMINACIÓN DE HIDROCARBUROS TOTALES (HTP)

La determinación de hidrocarburos totales de petróleo contempla una gran familia de compuestos derivados del petróleo crudo. Es aplicable a combustibles ligeros, sin embargo durante el proceso de extracción es posible la pérdida de la mitad de la gasolina presente.

El método se basa en la extracción de los hidrocarburos con solvente (Freón 113, o modificaciones), previo tratamiento con 5 mL de ácido clorhídrico 1:1 por litro de muestra y luego una lectura espectrofotométrica a longitud correspondiente al espectro infrarrojo, 2950 cm^{-1} , frente a curva patrón (n-hexadecano, isooctano y clorobenceno).

El Freón 113 o 1, 1, 2-tricloro-1, 2, 2-trifluoroetano ($\text{C}_2\text{Cl}_3\text{F}_3$) es considerado dentro de los gases de efecto invernadero de origen exclusivamente antrópico. Los clorofluorocarbonos poseen una larga vida en el ambiente y efectos de alto riesgo a corto plazo (Administración de Salud y Seguridad ocupacional, 2021).

Se esperaba que se eliminara gradualmente para 1996 en los países desarrollados y para 2006-2015 en los países en desarrollo y por ello se ha reemplazado su uso por solventes como el tetracloruro de carbono (Banco de datos de sustancias peligrosas, 2021).

DETERMINACIÓN DE FÓSFORO TOTAL

El fósforo está presente naturalmente en el medio como fosfatos. Se utiliza a nivel industrial en la preparación de productos de limpieza y lavado.

Es esencial en el crecimiento de los organismos y puede ser un nutriente limitante de un cuerpo de agua.

Cuando se incorpora al agua por acción antrópica estimula el crecimiento de micro y macroorganismos fotosintéticos acuáticos, favoreciendo la eutrofización de los cuerpos de agua.

Para determinarlo primero debe convertirse el fósforo a la forma de ortofosfato disuelto y luego se utiliza un método colorimétrico usando ácido vanadomolibdofosfórico, cloruro de estaño o ácido ascórbico.

Teniendo en cuenta la composición de los residuos y el potencial impacto sobre el ambiente se sugiere realizar el monitoreo mensualmente e incluir la determinación de los siguientes parámetros: Sustancias fenólicas, sulfuros, metales y fósforo.

EFLUENTES GASEOSOS

El aire es un sistema heterogéneo compuesto por gases, líquidos y partículas sólidas en suspensión. Estas características hacen que su muestreo sea complejo.

TOMA DE MUESTRA

Para la determinación de compuestos orgánicos volátiles en aire las técnicas de muestreo más utilizadas consisten en recoger los analitos en adsorbentes sólidos (captadores pasivos o activos), o recipientes de acero inoxidable especiales (canister) (Ras, M., Borruall, F. y Marcé R. (2009); Pérez Juárez, N., 2012).

La técnica de muestreo para captadores pasivos emplea adsorbentes sólidos, la retención y concentración se produce por los fenómenos de difusión y permeación del aire. En cambio, la técnica de adsorción activa, consiste en bombear un volumen controlado de aire a través de cartuchos rellenos. Ambas técnicas son sencillas y económicas. El muestreo se realiza durante periodos de tiempo determinados.

Estas técnicas pueden utilizar el mismo material de adsorbente sólido. La función más importante es pre-concentrar la muestra, teniendo en cuenta que las concentraciones de COV en aire son relativamente bajas, por esto es importante considerar a la hora de elegir alguno la fuerza de interacción analito-adsorbente, el costo y la facilidad de uso. Idealmente debería tener una alta capacidad de retención para los compuestos de interés, desorción completa a temperatura entre 350-400°C, no generar interferencias ni retener vapor de agua (Pérez Juárez, N., 2012).

La Tabla 17 resume algunos de los adsorbentes sólidos disponibles en el mercado.

Adsorbente	Tamaño de partícula	Área de superficie	Aplicación
Carbono grafitado			
Carbotrap B (S-A)	Malla 20/40	100 m ² /g	C3-C20
Tamiz molecular de carbono			
Carbosieve (S-A)	Malla 60/80	1160 m ² /g	C2-C5
Polímero poroso			
Tenax (B VB)	Malla 60/80	35 m ² /g	C7-C26

Tabla 17. Fuente: Sigma Aldrich, 2020.

Posteriormente en el laboratorio es necesaria la desorción de los analitos para poder introducirlos en el cromatógrafo de gases para su análisis. Puede realizarse mediante extracción por solventes orgánicos (ideal para compuestos termolábiles) o utilizando desorción térmica, a una temperatura de 350-400°C. La técnica de solventes es más económica y la muestra no se pierde. La técnica térmica es más rápida y limpia. Sin embargo, luego del calentamiento la muestra es irre recuperable (Pérez Juárez, N., 2012).

La técnica de muestreo con recipientes de acero inoxidable, también llamados canister permite tomar muestras de COV no polares, los demás pueden perderse o recuperarse en parte. Además, pueden existir reacciones químicas y adsorción de gases y partículas en sus paredes y no es recomendado en ambientes de alta humedad (Pérez Juárez, N., 2012).

METODOLOGÍA

Existen métodos diferentes dependiendo si quieren medirse los niveles de calidad de aire a los que estamos expuestos (parámetros de inmisión) o el efluente gaseoso desde la fuente (parámetros de emisión) (SASDN, 2014).

La determinación de compuestos presentes en combustibles líquidos y aceites lubricantes requiere alta sensibilidad y resolución, debido a su variedad y baja concentración. El método de elección es la cromatografía gaseosa con detector de masas (GC-EM).

Las columnas cromatográficas que se utilizan para análisis de COV son columnas capilares de paredes recubiertas con gel de sílice como fase estacionaria (WCOT, Wall Coated Open Tubular) o columnas tubulares abiertas de capa porosa con alúmina como fase estacionaria (PLOT, Porous Layer Open Tubular) (MIMA, 1999).

En la etapa post-analítica se interpretan los resultados obtenidos y se comparan con los límites admisibles según la legislación (Ordenanza Municipal N° 3779-3/02 para efluentes industriales líquidos y Decreto Nacional N° 831/93 para efluentes industriales gaseosos). Con estos datos se redacta un informe que muestre los datos de forma clara y precisa.

Actualmente en la ciudad de Comodoro Rivadavia no existe control de efluentes gaseosos generados por las estaciones de servicio. Es importante destacar que los resultados obtenidos de contaminantes, cualitativos y/o cuantitativos, podrían utilizarse con fines regulatorios.

8. FORMAS DE TRATAMIENTO

Las estaciones de servicio deben encargarse del tratamiento de efluentes líquidos *in-situ* y derivar los residuos peligrosos, tanto líquidos como sólidos y semisólidos hacia su disposición final.

Existen diferentes tipos de tratamiento aplicables: físicos, químicos o biológicos.

53

TRATAMIENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS

Los efluentes líquidos generados provienen del lavado de la playa de combustible, eventuales pérdidas de material contaminado ya sea con combustibles líquidos o aceites lubricantes y residuos del lavadero.

El tipo de tratamiento aplicado al efluente en las estaciones de servicio tiene como objetivo adecuar su composición para cumplir con la legislación vigente antes de ser vertidos al cuerpo receptor. En general se clasifican en tratamiento primario, secundario y terciario o tratamientos físicos, químicos o biológicos.

TRATAMIENTOS FÍSICOS

El área de surtidores de combustibles, lubricentro y lavadero está delimitada por rejillas perimetrales, cuya función es evitar el paso de material de gran tamaño que pudiera ocasionar obstrucciones al sistema de cámaras de tratamiento primario. Este procedimiento se considera un tratamiento preliminar.

El sistema de cámaras de tratamiento que se muestra en la Figura 8 sirve para eliminar sólidos y materia orgánica suspendida (hidrocarburos, aceites y grasas).

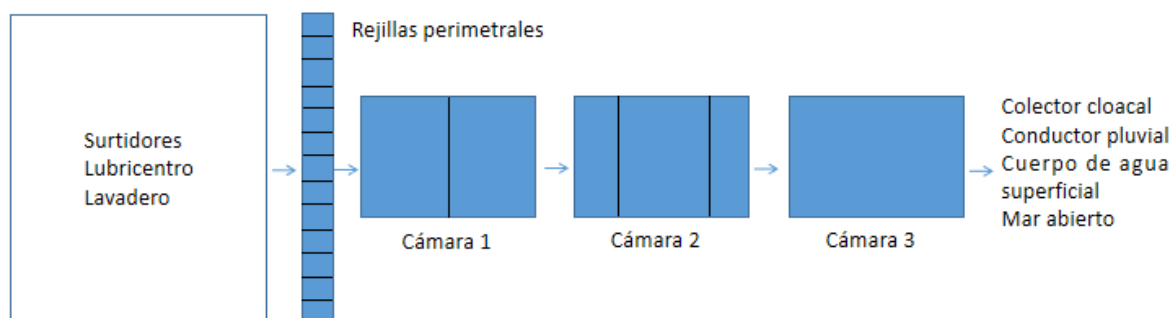


Figura 8. Esquema del sistema de tratamiento de efluentes. Fuente: Elaboración propia.

La primer cámara, cámara sedimentadora o trampa de sedimentos cumple la función de retener los sólidos en suspensión y sedimentables presentes en el agua. La separación se logra por gravedad o sedimentación. Posee un recubrimiento con materiales impermeables a grasas y aceites.

La segunda cámara, trampa de grasas es una estructura de concreto impermeable o polipropileno de funcionamiento mecánico para flotación. El sistema separa por gravedad,

aprovechando la baja velocidad del agua y la diferencia de densidades entre el agua y los hidrocarburos. En menor medida retiene sólidos. Esta cámara consta de tres sectores separados. El primero retiene el flujo, obligándolo a pasar por la parte baja y el segundo permite el paso del flujo como vertedero lo que hace que se regule el paso y se presenten velocidades constantes y horizontales. En el primer y segundo sector se realiza la mayor retención de sólidos y en menor cantidad, la retención de grasas y aceites debido a la turbulencia que presenta el agua. El tercer sector realiza la mayor acumulación de los elementos flotantes como grasas y aceites libres los cuales pasan al desnatador que se encuentra conectado. Es poco eficiente en el caso de aceites emulsificados (MIMA, 1999).

La función del desnatador es eliminar todos los elementos flotantes gracias a la ayuda de un sistema de rasquetas y un juego de piñones y cadenas que generan un movimiento continuo que los desplaza a un compartimento de salida (Hidrometálica, 2020). El agua tratada continua su camino.

Para asegurar el funcionamiento adecuado del sistema de tratamiento es necesario efectuarles mantenimientos y limpiezas periódicas.

La tercer cámara, caja de aforo, se construye antes del vertimiento al cuerpo receptor (cloaca, pluvial o mar). No es una cámara que sirva para tratamiento del efluente sino que se utiliza como cámara de inspección. Se llama aforo a la operación de medida de un volumen de agua en un tiempo determinado. Se utilizan para estimar los caudales mínimos y máximos, dependiendo de las estaciones secas o de lluvias (Batista, N, 2015). En esta cámara además se realiza la caracterización “ideal” del efluente. No todas las estaciones de servicio tienen esta cámara. Por lo que alternativamente el muestreo se realiza a la salida de la última cámara del sistema interceptor (DIYS, 2020).

Es importante destacar que el diseño de este sistema no es adecuado para la retención ni eliminación de los tensioactivos (detergentes y ceras) producidos durante el lavado de autos.

TRATAMIENTO QUÍMICO

Los detergentes biodegradables se eliminan mediante el uso de floculantes, promueven la unión de las partículas desestabilizadas, formando partículas de mayor tamaño visible a simple vista denominadas flóculos, que sedimentan y posteriormente se retiran.

Los floculantes son polímeros de elevado peso molecular solubles en agua. Pueden ser de origen mineral, orgánico natural o sintético. Estos últimos son los más utilizados y se clasifican en aniónicos, neutros o catiónicos (Becker, A., 2018).

En las estaciones de servicio de Comodoro Rivadavia se combinan tratamientos físicos y químicos sobre los efluentes líquidos. En caso de que el establecimiento no cuente con un sistema con salida al conducto pluvial/cloacal, el volumen de residuos líquidos es retirado y tratado *ex-situ* por empresas acreditadas (Daniel, 2020; Maldonado, E., 2020).

TRATAMIENTO BIOLÓGICO

Los tratamientos biológicos se consideran métodos altamente eficientes, amigables con el medio ambiente y de bajo costo económico (Al Hawash, A. *et al.*, 2018).

La biorremediación de residuos contaminados con hidrocarburos puede llevarse a cabo, entre otras maneras, mediante bioestimulación o por bioaumentación (García Alcántara, J. *et al.*, 2016; Lizardi Jiménez, M. *et al.*, 2016). La bioaumentación consiste en la incorporación de microorganismos especializados al sitio contaminado, a fin de acelerar el proceso de biorremediación, mientras que la bioestimulación consiste en estimular los microorganismos del ambiente natural mediante el agregado de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo (Varjani, S., 2017).

Existen resultados alentadores en investigaciones recientes con respecto a la posibilidad de biodegradar la fase libre no acuosa que forma parte de los efluentes líquidos de estaciones de servicios (Acuña, A. *et al.*, 2020). Sin embargo, no se utilizan actualmente en la Ciudad de Comodoro Rivadavia.

TRATAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS

El tipo de tratamiento *ex-situ* aplicado a los residuos peligrosos generados en las estaciones de servicio dependerá de cuál sea su destino: reciclado o disposición final.

RESIDUOS PELIGROSOS LÍQUIDOS

Los aceites minerales no aptos para el uso a que estaban destinados (Y8) y las mezclas y emulsiones de desecho de aceite y agua o de hidrocarburos y agua (Y9), son derivados a empresas que se encargan de su tratamiento.

Estos residuos pueden ser reciclados y utilizados como materia prima alternativa en las industrias. Para ello, son sometidos a un proceso de deshidratación, en el que se utilizan altas temperaturas y vacío, y luego refinados logrando un subproducto de alta calidad comercializable, como el Fuel Oil. Si no existiera la posibilidad de reciclar, los residuos se someten a incineración (DRP, 2020; Grupo Pelco, 2020; Patagonia Ecológica, 2020; Quimiguay, 2020).

RESIDUOS PELIGROSOS SÓLIDOS

Los trapos, guantes, cartones, recipientes de aceites con restos de derivados de hidrocarburos, papeles impregnados con derivados de hidrocarburos (Y48/Y8 e Y48/Y9), filtros usados (Y48/Y8) y barros contaminados (Y48/Y9) son destruidos por incineración (Ineco, 2020).

La incineración es un tipo de tratamiento físico que consiste en someter los residuos a altas temperaturas en el cual los residuos peligrosos son convertidos, en presencia de oxígeno, en gases y residuales sólidos incombustibles. Los gases generados son emitidos a la atmósfera previa limpieza de gases y los residuales sólidos son depositados en un relleno de seguridad (Ineco, 2020).

TRATAMIENTO DE EFLUENTES GASEOSOS

En las estaciones de servicio los gases se emanan al ambiente comúnmente sin previo tratamiento de ningún tipo.

Las recomendaciones para disminuir las emisiones hacia la atmósfera se basan principalmente en la prevención, ajustando la composición de los combustibles líquidos y aceites lubricantes, mejorando los sistemas de seguridad de carga y descarga de tanques de almacenamiento y surtidores.

8. TÉCNICAS ANALÍTICAS APLICADAS AL ANÁLISIS FORENSE

La disciplina ambiental forense combina metodologías científicas y de investigación histórica para reconstruir eventos de contaminación pasados y presentes, en particular, las partes involucradas y cuándo y cómo se produjeron las contaminaciones en diversos lugares (Murphy B. y Morrison R., 2007).

Existen problemáticas a nivel local que pueden ser resueltas utilizando las herramientas provistas por esta disciplina. Es una situación probable la detección de derrames de sustancias oleosas sobre la costa marítima en zonas urbanizadas y en cercanías de desagües cloacales.

HISTORIA DEL SITIO

Para comenzar con el análisis de un caso de contaminación se debe tener información del lugar para determinar cuáles son las posibles fuentes contaminantes.

Se puede realizar una revisión fotográfica utilizando las imágenes satelitales provistas por el programa Google Earth.

En las siguientes imágenes podemos observar el sitio contaminado con sustancia oleosa sobre la costa y diferentes sitios cercanos en los cuales las actividades realizadas son consideradas potenciales fuentes contaminantes: estaciones de servicio, puerto y playa de tanques de almacenamiento de combustibles (Figura 9).



Figura 9.

Mapa de ubicación entre el sitio contaminado y las estaciones de servicios, puerto y playa de tanques de almacenamiento de combustibles cercanas. Referencias: Contaminación: color rojo, EDS 1 y 2: color amarillo, Playa de tanques: color azul. *Fuente: Elaboración propia usando Google Earth.*

El programa Google Earth nos permite medir las distancias entre el sitio contaminado y las diferentes posibles fuentes. Las distancias obtenidas usando esta herramienta son 450 metros

de la estación de servicios EDS1, 850 metros del puerto, 900 metros de la estación de servicios EDS2 y 1200 metros de la playa de tanques al sitio contaminado.

La movilidad del contaminante y su acumulación en los distintos medios dependerán de las características de los contaminantes y de la naturaleza de los compartimientos ambientales. Las propiedades físicas que resultan claves para la movilidad del contaminante son la volatilidad y solubilidad en agua. Los contaminantes orgánicos persistentes suelen transportarse a largas distancias, lo que se conoce como "efecto saltamontes", denominación que deriva de la capacidad de una sustancia de poder ser transportada por vía del agua, aire o especies migratorias a áreas remotas con relación a donde es utilizada o emitida. (Martinez, J, 2005)

Si consideramos que el hidrocarburo presente en la playa proviene de la estación de servicios EDS1 más cercana (250 metros) debemos tener en cuenta que los contaminantes pueden llegar por un escaso tratamiento de los efluentes que son vertidos a la cloaca o tal vez por migración a través de la napa freática contaminada como consecuencia de rupturas en los tanques de almacenamiento, cañerías, piletas o cualquier otro reservorio.

Otro recurso que nos puede servir para conocer sobre los hechos es tomar entrevistas a los vecinos del lugar prestando atención a todo dato de relevancia anterior a nuestra llegada al sitio, esto podría darnos información valiosa que facilite el análisis.

TECNICAS ANALÍTICAS FORENSES

El objetivo principal es determinar el tipo de sustancia oleosa presente en el sitio afectado. Es decir, si se trata de petróleo crudo (local o extranjero), combustibles líquidos o aceites lubricantes.

En el caso de una contaminación con hidrocarburos podemos comenzar realizando un análisis fisicoquímico de muestras líquidas o sólidas obtenidas en el sitio, obteniendo datos como densidad, gravedad API y la curva de destilación.

Existen algunas diferencias en las densidades de los aceites lubricantes, combustibles líquidos y el petróleo crudo como se muestra en la Tabla 18.

	Petróleo crudo	Diesel	Nafta	Aceite lubricante
Densidad (g/mL)	~ 0,94	~ 0,83	~ 0,73	~0,88

Tabla 18. Densidades características de petróleo crudo y combustibles líquidos. Fuente: Potter, T. y Simmons, K., 1998.

Sin embargo, producto de la meteorización (evaporación, solubilización, etc.) cambian los valores iniciales, por lo tanto, es necesario el empleo de otras herramientas para confirmar de que contaminante se trata.

BIOMARCADORES

Los biomarcadores o marcadores biológicos son todo compuesto orgánico (constituido por carbono, hidrógeno y otros elementos) detectados en material geológico, cuyo esqueleto

básico sugiere un origen directo relacionado con un producto natural. Se encuentran presentes en extractos orgánicos obtenidos de sedimentos, rocas y crudos, y poseen una estructura similar a la del precursor biológico respectivo.

Se pueden clasificar según su estructura química en dos grandes familias: Alifáticos (n-alcenos e isoprenoides: acíclicos, terpanos o esteranos) o aromáticos (esteranos mono o triaromáticos) (Acuña, A., 2020).

Las muestras se acondicionan dependiendo si son sólidas o líquidas. En el caso de la muestra de sedimentos impregnados es necesaria la extracción del bitumen con solvente cloroformo, diclorometano o tolueno usando un aparato Soxhlet; la muestra líquida no requiere pretratamiento.

Se realiza una separación por cromatografía líquida en columna (Figura 10 y 11), obteniendo las cuatro fracciones: saturados (extracción con hexano), aromáticos (extracción con tolueno), resinas (extracción con tolueno/metanol en proporción 70:30) y asfaltenos (precipitación con n-heptano). También podrían usarse las técnicas de HPLC o TLC-FID.

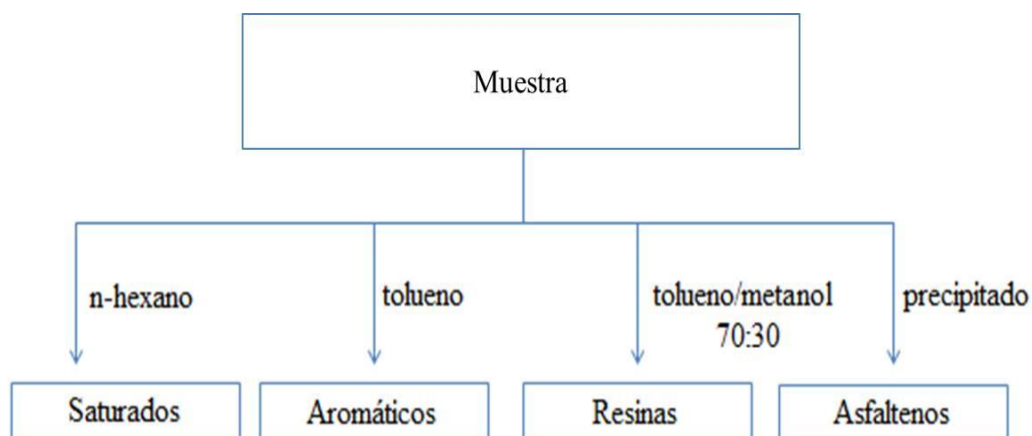


Figura 10. Separación por cromatografía líquida en columna de compuestos SARA. Fuente: Acuña, A., 2020.

La fracción de saturados se encuentra constituida por hidrocarburos no polares, saturados (alifáticos), lineales o ramificados, cíclicos (naftenos) o policíclicos. Constituyen la fracción liviana.

La fracción de aromáticos se encuentra constituida por compuestos bencénicos o polibencénicos (di o tri aromáticos) enlazados con cadenas alifáticas y compuestos nafténicos. Pueden presentarse heteroátomos como azufre.

La fracción de resinas se encuentra constituida por compuestos polares de heteroátomos de oxígeno, nitrógeno y azufre. La resina es un término operacional asignado a los compuestos que son insolubles en propano pero solubles en alcanos livianos como n-pentano y n-hexano.

La fracción de asfaltenos son definidos operacionalmente como los compuestos que precipitan en alcanos livianos como pentano, hexano o heptano. Contienen la mayor cantidad de

compuestos con heteroátomos de oxígeno, nitrógeno y azufre y de constituyentes organometálicos (Acuña, A., 2020).

Figura 11. Fracciones SARA. Fuente: Acuña, A., 2020.



Las fracciones se analizan por cromatografía gaseosa acoplada a espectrómetro de masas (CG-EM).

Para obtener los fragmentogramas de relación masa/carga (m/z) se utilizan la técnica de monitoreo de iones seleccionados (SIM) y las señales totales integradas (TIC).

Las relaciones m/z 99 (n-alcenos), 191 (terpanos) y 217 (esteranos) nos indicarán el origen de la contaminación ya que para el petróleo crudo, los aceites lubricantes y los combustibles líquidos estas son distintas (Lorenzo García, E. *et al.*, 2019).

La relación m/z 99 y pristano/fitano de la muestra están presentes en petróleo crudo. Sin embargo, por su rápida biodegradación no resultan de mucha utilidad para el análisis forense ya que sus resultados no son concluyentes.

La presencia de la relación m/z 191, característica de los terpanos y m/z 217, característica de los esteranos, compuestos de alto peso molecular y elevados puntos de ebullición están vinculados con petróleo crudo y podrían ayudar a diferenciarlos de productos derivados de la destilación (Figura 12).

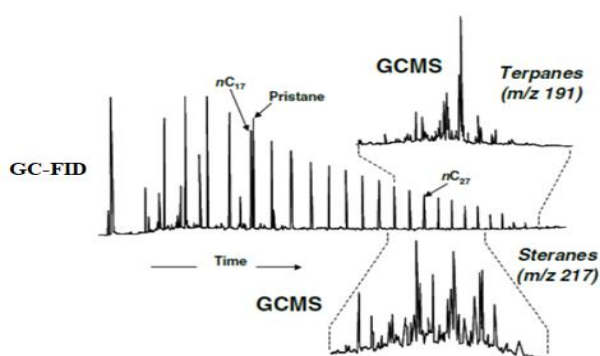


Figura 12. Fragmentogramas de relación masa/carga (m/z). Fuente: Acuña, A., 2020.

Esta técnica además nos sirve para determinar si el origen del petróleo crudo es local utilizando como referencia el de la zona. Es decir, si los perfiles son iguales, podemos orientarnos a que la mancha proviene de una fuente local. En cambio, si estos no coinciden tendremos una contaminación vinculada con un accidente o negligencia durante su transporte a través del puerto, por ejemplo.

El mismo procedimiento de comparación podríamos realizar con productos de destilación, aceites lubricantes y combustibles líquidos, tomando como referencia una muestra de los que se comercializan en cada una de las estaciones de servicios sospechosas, aquellos presentes en las cámaras de tratamiento de efluentes y los contenidos en los tanques de la playa de almacenamiento.

En cualquier caso, la utilidad de esta técnica de análisis forense nos permite por comparación de perfiles determinar el tipo de contaminante y su posible origen.

CONCLUSIONES

- Las estaciones de servicio de la Ciudad de Comodoro Rivadavia están distribuidas en zonas urbanas. Generan efluentes líquidos, gaseosos y residuos peligrosos.
- Las actividades en las que se generan son la descarga de combustibles desde camiones a los tanques de almacenamiento, fugas en los tanques de almacenamiento, despacho de combustibles desde los surtidores a los automóviles, servicio de lubricación y lavado de autos, mantenimiento de playas e instalaciones en general.
- Los principales contaminantes son los hidrocarburos, que pueden estar presentes en aire, agua o suelo, así como también afectar la biota y los seres humanos. Además, existen otros contaminantes como grasas, aceites, detergentes, sólidos y aditivos, principalmente metales.
- Los efectos a considerar son la alteración de la calidad del aire, la formación de ozono troposférico y óxidos de nitrógeno y la participación de los compuestos orgánicos volátiles en el cambio climático; la contaminación de las aguas y suelos o sedimentos y la biota. En los seres humanos expuestos pueden verse consecuencias agudas o crónicas, desde irritaciones leves a efectos mutagénicos e incluso cancerígenos.
- La gestión de efluentes líquidos y residuos peligrosos está bien normada a nivel municipal. En cambio, en cuanto a las emanaciones gaseosas no hay legislación municipal específica referida a compuestos orgánicos volátiles.
- Los efluentes líquidos son controlados regularmente. Sin embargo, podría aumentarse la frecuencia del control y se sugiere incluir otros parámetros al monitoreo mínimo como ser sustancias fenólicas, metales, sulfuros y fósforo. Por otra parte, no hay control de los efluentes gaseosos.
- El tratamiento de efluentes líquidos y residuos peligrosos está bien definido, mientras que los compuestos volátiles son liberados sin un tratamiento a la atmósfera.
- El análisis ambiental forense utiliza diferentes herramientas y técnicas analíticas en caso de una contaminación para resolver el tipo de contaminante involucrado, la fuente y la responsabilidad de los generadores.
- Este trabajo demostró la importancia de los múltiples factores necesarios para la conservación del medio ambiente y el equilibrio con la biota y los seres humanos.
- En la Ciudad de Comodoro Rivadavia hay muchos aspectos que se pueden implementar o mejorar y se espera que esta información sirva para que se cumpla ese objetivo.

BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, A. (2019). Química analítica ambiental A. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.
- Acuña, A. (2020). Química ambiental forense. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.
- Acuña, A., Cambarieri, L., y Pucci, G. (2020). Biodegradación de dos residuos de estaciones de servicio en Río Gallegos-Argentina. *Acta Biológica Colombiana*, 25(3)
- Administración de Salud y Seguridad Ocupacional. (2021). Consultada Mayo, 2021.
<https://www.osha.gov/chemicaldata/chemResult.html?RecNo=607>
- Agencia Europea de productos químicos (2021). Consultada Mayo, 2021.
<https://europa.eu/european-union/>
- Al Hawash, A., Dragh, M., Li, S., Alhujaily, A., Abbood, H., Zhang, X. y Ma F. (2018) Principles of microbial degradation of petroleum hydrocarbons in the environment. *Egyptian Journal of Aquatic Research*. DOI: 10.1016/j.ejar.2018.06.001.
- Albiano, N. y Villamil, E. (2015) Toxicología Laboral: Criterios para el monitoreo de la salud de los trabajadores expuestos a sustancias químicas peligrosas. Buenos Aires, Argentina: Superintendencia de riesgos del trabajo.
- API. American Petroleum Institute (1987). Comprehensive Analytical Analysis of API Generic Refinery Streams.
- ATSDR. Agencia para el registro de sustancias tóxicas y el registro de enfermedades. Benceno. Consultada Septiembre, 2020.
https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs3.html
- ATSDR. Agencia para el registro de sustancias tóxicas y el registro de enfermedades. Fenol. Consultada Mayo, 2021. https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs115.html
- Axion Energy. Combustibles. Consultada Agosto, 2020.
<https://www.axionenergy.com/ar/combustibles.html>
- Axion Energy. Ficha de seguridad: Gas Oil. Consultada Septiembre, 2020.
<https://www.axionenergy.com/ar/download/hojas-tecnicas/gas-oil-gr2-500-mayorista-s.pdf>
- Axion Energy. Ficha de Seguridad: Naftas. Consultada Septiembre, 2020.
<https://www.axionenergy.com/ar/download/hojas-tecnicas/nafta-normal-seguridad.pdf>
- Baird, R. B., Eaton, A. D., Rice, E. W., y Bridgewater, L. (2017). Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington, DC: American Public Health Association.
- Banco de datos de sustancias peligrosas. (2021). Consultada Mayo, 2021.

<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/source/hsdb/145>

▪ Barrionuevo Castro, Y., Hurtado Soto, C., Infantes Roque, D., Navarro Támara, G., Palacios Muñoz, J., Peñaloza Valencia, M., Perez Pinto, S., Soto Coaquira, R., Tejada Estofanero, A., Villasante Aparicio, A. (2014). Benceno y tolueno. Arequipa, Perú: Universidad Nacional de San Agustín. Consultada Septiembre, 2020.

https://www.academia.edu/13900868/BENCENO_Y_TOLUENO

▪ Basile, J. y Durán, J.L. (2011). Lubricantes automotrices: definición, funciones, clasificación y tendencias. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina: Fundación YPF.

https://fundacionypf.org/publicaciones/Educacion/EDUCACION_FET_Actualizacion_Tecnologica_8.pdf

▪ Batista, N. (2015). Cajas de aforo. Consultada Noviembre, 2020.

<https://prezi.com/liabybdsxgev/cajas-de-aforo/>

▪ Becker, A. (2018). Tratamiento de efluentes líquidos industriales. Buenos Aires, Argentina. Universidad Nacional de San Martín. Consultada Octubre, 2020.

https://ri.unsam.edu.ar/bitstream/handle/123456789/518/PFI_3IA_2018_BAN.pdf?sequence=1&isAllowed=y

▪ Benini, R., Cortés, M., Monsalvo, M., Paladino, J., Spinelli, L., Tambussi, M. y Trubiano, G. (2011). Programas de fortalecimiento de Escuelas Técnicas: Una escuela hacia el futuro. Buenos Aires, Argentina: Verne Producciones S.R.L.

▪ Biodiesel Argentina. (2021). Biodiesel. Consultada Mayo, 2021.

<https://biodiesel.com.ar/>

▪ Cámara Argentina de biocombustibles. (2021). Biocombustibles. Consultada Mayo, 2021.

<http://carbio.com.ar/index.php/biocombustibles/>

▪ CONAMA. Comisión Nacional del Medio Ambiente (2001). Guía para el control y prevención de la contaminación industrial: Estaciones de Servicio. Santiago, Chile. Consultada Agosto, 2020.

<https://www.achs.cl/portal/trabajadores/Capacitacion/CentrodeFichas/Documents/control-y-prevencion-de-riesgos-en-estaciones-de-servicio.pdf>

▪ Daniel. Encargado en Estación de Servicio Don Luis. Consulta personal Agosto, 2020

▪ Decreto Nacional N° 831 (1993). Reglamentación de la Ley Nacional 24051: Residuos peligrosos. Consultada Octubre, 2020.

<http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/10000-14999/12830/norma.htm>

▪ Decreto Nacional N° 2.407 (1983). Normas de seguridad para el expendio de combustibles por surtidor, Capítulo XI: Surtidor para expendio de combustibles. Secretaría de Energía. Consultada Octubre, 2020.

<https://www.argentina.gob.ar/produccion/energia/hidrocarburos/resolucion-se-11022004/decreto-nacional-24071983>

- Díaz, M. y Blasetti, H (2019). Química toxicológica. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.
- DIYS. Departamento de Industrias y Servicios. Esp. Toledo, Elizabeth. Monitoreo de Estaciones de Servicio. Subsecretaría de Ambiente. Consulta personal Agosto, 2020.
- DRP. Departamento de Residuos Peligrosos. Dir. Evany, E y Lic. Rodríguez, E. Residuos peligrosos líquidos y sólidos de Estaciones de Servicio. Subsecretaría de Ambiente de Comodoro Rivadavia. Consulta personal Agosto, 2020.
- EPA. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (1987). Consultada Octubre, 2020.

<https://www.epa.gov/>

- García Alcántara, J., Maqueda Gálvez, A., Téllez Jurado, A., Hernández Martínez, R. y Lizardi Jiménez, M. (2016) Maya crude-oil degradation by a *Bacillus licheniformis* consortium isolated from a Mexican thermal source using a bubble column bioreactor. *Water Air Soil Pollution*. DOI: 10.1007/s11270-016-3121-7.
- Grupo Pelco. Buenos Aires, Argentina. Consultada Octubre, 2020.

<https://www.grupopelco.com.ar/>

- HC. Habilitaciones comerciales (2019). Registro de Estaciones de servicio. Municipalidad de Comodoro Rivadavia. Consulta personal Agosto, 2020.
- Hidrometalica. Desnatador. Consultada en Noviembre, 2020.

<https://hidrometalica.com/desnatador/>

- Honorable Legislatura. Provincia del Chubut. Consultada Octubre, 2020.

<http://www.legischubut.gov.ar/hl/index.php?view=article&id=15>

- IARC. International Agency for Research on Cancer. Consultada Septiembre, 2020.

<http://www.iarc.fr/>

- Ineco. Comodoro Rivadavia, Chubut, Argentina. Consultada Octubre, 2020.

<http://www.inecoargentina.com/>

- INFOLEG. Información legislativa. Ministerio de Justicia y Derechos Humanos. Presidencia de la Nación. Consultada Octubre, 2020.

<http://servicios.infoleg.gob.ar/>

- Ley Nacional N° 25.612 (2002). Gestión integral de residuos industriales y de actividades de servicios. Consultada Octubre, 2020.

<http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/verNorma.do?id=76349>

- Lizardi Jiménez, M., López Sánchez, E., Gómez de Jesús, A., García-Cruz, N. y Hernández-Flores, C. (2016) Sinkhole-native oil-degrading microbial consortium for hydrocarbon-polluted seawater remediation. *Clean Soil Air Water*. DOI: 10.1002/clen.201500114.
- Lorenzo García, E., Martínez Santana, M y Morato Medina, A. (2019). Biomarcadores como herramientas para la determinación del origen de emanaciones de hidrocarburos: surgencia de la libertad, ecuador, agosto 2016. *Geociencias*. ISSN: 1980-900X.
- Maldonado, E. Empleado en servicio de despacho de combustibles. Estación de Servicio General Mosconi. Consulta personal Agosto, 2020.
- Manahan S. E. (2007). Introducción a la Química Ambiental. México: Reverté Ediciones. ISBN: 986-6708-60-X.
- Martínez, J. (2005). Guía para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos. Fundamentos. Tomo I.
- MIMA. Ministerio del Medio Ambiente (1999). Guía de manejo ambiental para estaciones de servicio de combustible. Bogotá, Colombia. Consultada Octubre, 2020.
<https://redjusticiaambientalcolombia.files.wordpress.com/2012/09/guia-de-manejo-ambiental-para-estaciones-de-servicio-de-combustible.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Control del Desarrollo Sustentable. Provincia del Chubut. Consultada Octubre, 2020.
<http://www.ambiente.chubut.gov.ar/legislacion/>
- Moreno Grau, M. D. (2003). Toxicología Ambiental: Evaluación de riesgo para la salud humana Madrid, España: McGraw-Hill Interamericana.
- Murphy B. y Morrison R. (2007) Introduction to Environmental Forensics. USA: Editorial Academic Press. Elsevier.
- Nadal, Lía. (2010) Calidad de las naftas: medio ambiente. Buenos Aires, Argentina: Fundación YPF. ISBN 978-987-98015-5-0.
- National Library of Medicine. (2021). Consultada en Mayo, 2021.
<https://www.nlm.nih.gov/>
- Ordenanza Municipal N° 7060 (2000). Artículo 14. Municipalidad de Comodoro Rivadavia. Consultada Octubre, 2020.
http://www.comodoro.gov.ar/digesto/digesto_Menu/NORMATIVA/ORD/ORD-7060-2-00.htm
- OTS. Oficina Técnica de Saneamiento. Descargas cloacales y pluviocloacales. Sociedad Cooperativa Popular Limitada. Consulta personal Agosto, 2020.
- Patagonia Ecológica. Puerto Madryn, Chubut, Argentina. Consultada Octubre, 2020.
<https://www.patagoniaecologica.com/infraestructura.php>
- Pérez Juárez, N. (2012). Métodos semiautomáticos para la medida de benceno, tolueno y xilenos (BTX) en aire. Universidad de A Coruña. Consultada Octubre, 2020.

https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/9976/PerezJuarez_Nerea_TFG_2012.pdf?sequence=2&isAllowed=y

▪ Potter, T. L. y Simmons, K. E. (1998). *Composition of Petroleum Mixtures*. (Vol. 2) Massachusetts: Amherst Scientific Publishers.

▪ Pubchem. (2021). Base de datos química del Centro Nacional de Información Biotecnológica. Consultada Mayo, 2021.

<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/15413>

▪ Quimiguay Comodoro Rivadavia SA. Chubut, Argentina. Consultada Octubre, 2020.

<http://www.quimiguay.com.ar/quimiguay-comodoro-rivadavia-chubut/>

▪ RANF. Real Academia Nacional de Farmacia (2013). *NOx COV y CFC: Química de formación y destrucción del ozono*. Madrid, España. ISBN: 978-84-940609-8-4. Consultada Septiembre, 2020.

<http://ebook.ranf.com/ozono/files/assets/basic-html/page42.html>

▪ Ras, M., Borrull, F. y Marcé R. (2009). Sampling and preconcentration techniques for determination of volatile organic compound in air samples. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 28 (3), 347-361. Austin, USA.

▪ Ríos, S. y Katusich, O. (2018). *Química de los contaminantes*. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.

▪ SADS. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (2014). Proyecto PNUD N° 08. Mendoza, Argentina. Consultada Octubre, 2020.

<https://www.entferios.gov.ar/ambiente/userfiles/files/archivos/Jornadas%20de%20Control%20Ambiental/Clase%20de%20Entre%20Rios%20Miner.pdf>

▪ Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. (2021). Biodiesel. Consultada Mayo, 2021.

[https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/observatorio_bioeconomia/indicadores/06/index.php#:~:text=En%20la%20Argentina%2C%20el%20biodiesel,Glycine%20max\)%20como%20materia%20prima.&text=A%20trav%20de%20un%20proceso,%20steres%20met%20C3%20ADlicos%20es%20decir%20biodiesel.](https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/observatorio_bioeconomia/indicadores/06/index.php#:~:text=En%20la%20Argentina%2C%20el%20biodiesel,Glycine%20max)%20como%20materia%20prima.&text=A%20trav%20de%20un%20proceso,%20steres%20met%20C3%20ADlicos%20es%20decir%20biodiesel.)

▪ Secretaría de Energía. (2003). *Conceptos sobre Hidrocarburos*. Consultada Mayo, 2021.

https://www.energia.gob.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/contenidos_didacticos/publicaciones/hidrocarburos.pdf

▪ Sigma Aldrich. Adsorbentes. Consultada Noviembre, 2020.

<https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/>

▪ Subsecretaría de Medio Ambiente. Municipalidad de Comodoro Rivadavia. Legislación. Consultada Octubre, 2020.

<http://ambientecomodoro.gob.ar/institucional/index.php/legislaci>

▪ Surtidores: El portal de estaciones de servicio. Consultada Septiembre, 2020.

<https://surtidores.com.ar/>

▪ Varjani, S. (2017) Microbial degradation of petroleum hydrocarbons. *Bioresour Technology*. DOI: 10.1016/j.biortech.2016.10.037.

▪ YPF Boxes. Lubricentro. Consultada Agosto, 2020.

<https://www.ypf.com/ypfboxes/Paginas/Home.aspx>

▪ YPF. Fichas de seguridad: Diesel. Consultada Septiembre, 2020.

<https://www.ypf.com/productosyservicios/Descargas/DIESEL-500.pdf>

▪ YPF. Fichas de seguridad: Nafta. Consultada Septiembre, 2020.

<https://www.ypf.com/ProductosServicios/Documents/ficha-de-seguridad/N-INFINIA.pdf>

▪ YPF. Productos y Servicios: Benceno. Consultada Septiembre, 2020.

<https://www.ypf.com/productosyservicios/Descargas/FDS-Benceno.pdf>

▪ YPF. Productos y Servicios, Estaciones de Servicio: Combustibles. Consultada Agosto, 2020

<https://www.ypf.com/productosyservicios/Paginas/Estaciones-de-servicio-combustibles.aspx>

▪ YPF. Productos y Servicios. Estaciones de Servicio, Combustibles: Medio ambiente. Consultada Agosto, 2020.

<https://www.ypf.com/productosyservicios/Paginas/Estaciones-de-servicio-combustibles.aspx#medioambiente>

▪ YPF. Productos y Servicios: Lavadero. Consultada Agosto, 2020.

<https://www.ypf.com/productosyservicios/Paginas/Cuidado-para-tu-auto.aspx>

ANEXO I

COMPOSICIÓN CUALITATIVA DE LAS NAFTAS, DIESEL Y ACEITES LUBRICANTES

	Clase	Número de carbonos	Compuesto	
Naftas	Alquenos	4	1,3 butadieno cis-2-butano trans-2- butano	
		5	2-metil-1-butano 2-metil-2-butano cis-2-pentano trans-2-pentano	
		6	Benceno	
		7	Tolueno	
		8	Etilbenceno m-xileno o-xileno p-xileno	
		9	1,2,4-trimetilbenceno 1,3,5-trimetilbenceno 1-metil-2-etilbenceno 1-metil-3-etilbenceno 1-metil-4-etilbenceno	
		Alquil- monoaromáticos	4	Isobutano
			5	Isopentano
			6	2,2-dimetilbutano 2,3-dimetilbutano 2-metilpentano 3-metilpentano
	7		2,4-dimetilpentano 2-metilhexano 3-metilhexano	
	8		2,2,4-trimetilpentano 2,3,3-trimetilpentano 2,3,4-trimetilpentano 2,3-dimetilhexano 2,4-dimetilhexano 3-trimetilpentano	
	5		Ciclopentano	
	6		Ciclohexano	

	Cicloalcanos	7	Metilciclopentano Metilciclohexano
		4	n-butano
		5	n-pentano
	n-alcanos	6	n-hexano
		7	n-heptano
		10	Naftaleno
	Naftalenos	11	1-metilnaftaleno 2-metilnaftaleno
	Oxigenados	5	Metil-ter-butileter
Diesel	Alquil- monoaromáticos	6	Benceno
		7	Tolueno
		8	Etilbenceno Xileno
		9	1,3,5-trimetilbenceno n-propilbenceno 1-metil-4-isopropilbenceno
		10	n-butilbenceno
	Alcanos ramificados	12	3-metilundecano
		13	2-metildodecano
		14	3-metiltridecano
		15	2-metiltetradecano
		19	Pristano
		20	Fitano
	Cicloalcanos		Mono, di, tri y tetra
	Diaromáticos	12	Bifenilo
		13	Fluoreno Metilbifenilo
		14	Metilfluoreno
		15	Dimetilfluorenos
	Inorgánicos		Nitrógeno Azufre
	Metales		Arsénico Cadmio Cromo Hierro Manganeso Molibdeno Zinc
	Monoaromáticos		Benzocicloparafinas

		Benzodicycloparafinas
		Dinaftobenceno
		Indonas
		Tetralinas
n-alcanos	8	n-octano
	9	n-nonano
	10	n-decano
		n-undecano
	13	n-dodecano
	14	n-tridecano
	15	n-tetradecano
	16	n-pentadecano
	17	n-hexadecano
	18	n-heptadecano
		n-octadecano
Naftalenos	20	n-nonadecano
		n-eicosano
	22	n-heneicosano
	24	n-docosano
		n-tetracosano
Otros	10	
	11	Naftaleno
	12	1-metilnaftaleno
		2-metilnaftaleno
		1,3-dimetilnaftaleno
		1,4-dimetilnaftaleno
	13	1,5-dimetilnaftaleno
		Trimetilnaftaleno
	10	
	12	2-azapireno
	13	Tioaromáticos
		Etilhexilnitrato
		Dibenzotiofeno
		1-metilcarbazol
		2-metilcarbazol
		3-metilcarbazol
		4-metilcarbazol
		1,2-dimetilcarbazol
		1,3-dimetilcarbazol
		1,4-dimetilcarbazol
		1,6-dimetildibenzotiofeno
		2,6-dimetildibenzotiofeno
		2-etildibenzotiofeno
	15	2-fenilindol
	16	6-fenilquinolina
		2-etildibenzotiofeno
	18	Benzocarbazol
		Fenilcarbazol
Aromáticos polinucleares	14	

		14	Acenaftenos Acenaftilenos Bifenilos Fenantrenos Triaromáticos 2-aminoantraceno 2-aminofenantreno 3-aminofenantreno 4-aminofenantreno
		15	Antraceno Fenantreno 1-metilfenantreno 2-metilfenantreno 3-metilfenantreno 4-metilfenantreno 9-metilfenantreno 9-cianoantraceno 9-cianofenantreno
		16	Metilantracenos Metilfenantrenos Fluorantreno
		17	Pireno Dimetilfenantreno
		18	1-metilpireno 2-metilpireno Benzofluoreno 1-metil-7-isopropilfenantreno
		20	Benzoantraceno Benzofluorantreno Criseno Trifenileno
		21	Benzopireno
		22	Benzofluoranteno Ciclopentapireno Benzoperileno Indenolpireno Piqueno
Aceites lubricantes	Alquil- monoaromáticos	6	Benceno
		7	Tolueno
		8	Xileno (m-, o- y p-)
	Alcanos ramificados	10	Trans-decalino
		19	Pristano
		20	Fitano
Solventes clorados	1	Diclorodifluorometano	
	2	1,1,1- tricloroetano	
		Tetracloroetileno (PCE) Tricloroetileno (TCE)	

		Triclorotrifluoroetano
Cicloalcanos	15	Nonilcicloalcanos
	16	Octilcicloalcanos
Diaromáticos	12	Bifenilos
	13	4- Feniltolueno
		Fluorenos
		Metilbifenilos
	14	Metilfluorenos
	15	Dimetilfluorenos
	16	Trimetilfluorenos
Inorgánicos		Cloro
Metales		Arsénico
		Bario
		Cadmio
		Cromo
		Plomo
		Cinc
Monoaromáticos	10	Tetralina
	14	Naftobencenos
n-alcanos	12	n-dodecano n-tridecano n-tetradecano n-pentadecano n-hexadecano N-heptadecano N-octadecano N-nonadecano N-eicosano

Fuente: Potter, T. y Simmons, K., 1998.

GLOSARIO

ACTIVIDAD DE SERVICIO: Toda actividad que complementa a la industrial o que por las características de los residuos que genera sea asimilable a la anterior, en base a los niveles de riesgo que determina la presente.

AGUAS SUBTERRÁNEAS: Toda agua quieta o móvil bajo la superficie de la tierra.

AMBIENTE: Sistema físico e institucional donde se interrelacionan la naturaleza con su conjunto de recursos tales como el espacio aéreo urbano, las aguas superficiales, entubadas o subterráneas, el suelo, el subsuelo, la flora, el paisaje y demás constituyentes del medio natural, por una parte; el hábitat humano, por la otra parte, que comprende tanto al ser humano, como las conductas y actividades que este desarrolla.

ANALITO: Especie química, fisicoquímica u organoléptica de interés que se analiza.

BITUMEN: Es la materia orgánica extraíble (soluble en solventes orgánicos comunes) asociada a las rocas sedimentarias. Se encuentra constituida por compuestos alifáticos, aromáticos y heteroatómicos (N, S y O) de relativamente bajo peso molecular.

CAMBIO CLIMÁTICO: Variación del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad climática natural observada durante períodos de tiempo comparables.

CAPACIDAD ANTIDETONANTE: Es la capacidad de alcanzar la ignición en el momento justo en que el motor lo necesita, ni antes ni después.

CARGA CONTAMINANTE: Cantidad de un determinado contaminante por unidad de tiempo presente en un agua residual. La carga contaminante media mensual se calcula como el cociente entre la masa o volumen de un contaminante y el número de días en que se descarga el residuo líquido al cuerpo de agua, durante el mes del año en que se genera la máxima producción de dichos residuos.

CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA: Presencia en la atmósfera de cualquier agente físico, químico o biológico, o de combinaciones de los mismos en lugares, formas y concentraciones tales que sean o puedan ser nocivos para la salud, seguridad o bienestar de la población, o perjudiciales para la vida animal y vegetal o impidan el uso y goce de las propiedades y lugares de recreación.

COSTA MARÍTIMA: Es el espacio o interfase dinámica que comprende playa, mar y fondo, donde ocurre la interacción del agua de mar y los procesos terrestres. Es mucho más que una franja de mar con una línea fronteriza en la tierra o viceversa, la zona costera es un recurso natural único, formado por otros muchos recursos individuales, interrelacionados mediante procesos y fenómenos en permanente evolución, con un equilibrio dinámico.

CRACKING: Es la descomposición térmica del petróleo, en la cual se produce el rompimiento de hidrocarburos de alto peso molecular con generación de otros más livianos. Su objetivo es la refinación.

CUERPO RECEPTOR: El suelo, agua o atmósfera donde se evacuan elementos o sustancias de cualquier naturaleza/ Es el suelo y curso temporal o permanente o volumen de agua, marino o continental, ya sea este natural o artificial, superficial o subterráneo, que reciba la descarga de efluentes líquidos (laguna, lago, embalse, arroyo, canal o zanja, río, mallín, acequia, acuífero u otro). No se comprenden en esta definición los cuerpos de agua artificiales que contengan, almacenen o traten aguas de lluvias o desechos líquidos cloacales o residuales provenientes de un proceso industrial.

EFLUENTES: Todo líquido, sólido y gas que se evacua fuera de las instalaciones donde se produce/ Es el líquido residual originado en cualquier actividad desarrollada en un establecimiento comercial, industrial o de servicios, el cual debe ser tratado y/o dispuesto según sus características, de un modo ambientalmente adecuado.

EFLUENTE CLOACAL: Todo líquido residual proveniente de viviendas y establecimientos de servicios, originadas predominantemente en el metabolismo humano (aguas negras) y de las actividades de higiene personal y limpieza de la vivienda (aguas grises), con algún aporte pluvial.

EFLUENTE INDUSTRIAL: Todo líquido residual generado en cualquier establecimiento que derive de procesos industriales.

EMISIÓN: Cualquier contaminante que pase a la atmósfera como consecuencia de procesos físicos, químicos o biológicos. Cuando los contaminantes pasen a un recinto no diseñado específicamente como parte de un equipo de control de contaminación del aire, serán considerados como una emisión a la atmósfera.

EMPRESA COMERCIALIZADORA: La que proveyera regularmente combustible a estaciones de servicio y demás bocas de expendio, disponiendo para ello de las instalaciones necesarias y organización adecuada para su distribución.

EXPENDEDOR: Propietario, locatario, administrador o toda persona de existencia física o ideal que estuviere a cargo de la explotación de estaciones de servicio, garajes, surtidores en vía pública o bocas de consumo propio, en virtud de compromiso contraído con la empresa comercializadora.

GASES DE EFECTO INVERNADERO: Gases integrantes de la atmósfera, de origen natural y antropogénico, que absorben y emiten radiación de determinadas longitudes de ondas del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes.

GENERADOR: Toda persona física o jurídica que, como resultado de sus actos o de cualquier proceso, operación o actividad, produzca residuos calificados como peligrosos.

ISLA DE SURTIDOR: Emplazamiento de uno o más surtidores simples o dobles, ubicados sobre una misma plataforma y protegidos.

LÍMITE PERMISIBLE: Valor o rango asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en la descarga de aguas residuales, por considerarlo causa de contaminación del cuerpo receptor donde se evacua.

LODO: Es el material semilíquido generado como barro en las unidades de tratamiento de cualquier líquido residual o proceso o actividad, el cual debe ser tratado y/o dispuesto de un modo que no afecte el ambiente y a la salud humana.

MAR ABIERTO: La expansión de océano alejada y fuera de la zona de la costa marítima, y no encerrada por accidentes geográficos, ni estrechos, donde el agua es totalmente mezclada y renovada permanentemente por fenómenos naturales. Se excluye de esta definición toda bahía, golfo, caleta y cualquier otro accidente costero que encierra parcialmente una porción del agua marina con intercambio de agua pobre.

MEDIDAS DE ADAPTACIÓN: Las políticas, estrategias, acciones, programas y proyectos que puedan prevenir, atenuar o minimizar los daños o impactos asociados al cambio climático y explorar y aprovechar las nuevas oportunidades de los eventos climáticos.

MEDIDAS DE MITIGACIÓN: Acciones orientadas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero responsables del cambio climático así como medidas destinadas a potenciar, mantener, crear y mejorar sumideros de carbono.

MUESTRA SIMPLE: La que se toma en el punto de una descarga continua, en un momento de operación normal de las actividades que generan la descarga, de modo que refleje cuantitativa y cualitativamente el o los procesos más representativos, durante el tiempo necesario para completar como mínimo el volumen suficiente para que se lleven a cabo los análisis necesarios para conocer su composición. Es conveniente aforar el caudal descargado en el sitio.

MUESTRA PUNTUAL: Es una muestra discreta, tomada en un lugar representativo, en un determinado momento. El conjunto del volumen que constituye la muestra es extraído de una sola vez. Es útil para determinar la composición del agua residual en un momento dado y, cuando las variaciones de volumen y composición son reducidas, puede ser representativa de la composición en un período mayor de tiempo. Es indispensable cuando se persigue evaluar la conformidad con normas sin apuntar a la calidad media. Son recomendables cuando el flujo de agua a muestrear no es uniforme y los valores de los parámetros a determinar no son constantes dado que el empleo de una muestra compuesta podría enmascarar diferencias entre muestras individuales y cuando se analizan parámetros fluctuantes (concentración de gases, cloro residual).

NIVEL DE ALERTA: Es la concentración de contaminantes que, manteniéndose durante un lapso especificado en cada caso, es capaz de producir sensación de disconformidad o síntomas molestos en grupos de personas sensibles.

NIVEL DE ALARMA: Es la concentración del contaminante (o posible mezcla de contaminantes) que, manteniéndose un tiempo dado especificado en cada caso, es capaz de producir una alteración de importantes funciones fisiológicas en grupos de personas sensibles a su acción, o una probable enfermedad crónica.

NIVEL DE EMERGENCIA: Es la concentración del contaminante (o posible mezcla de contaminantes y acción coadyuvante de condiciones meteorológicas desfavorables, como por ejemplo las inversiones térmicas), que manteniéndose un tiempo dado especificado en cada caso, puede producir una intoxicación aguda en grupos de personas sensibles a su acción e inclusive la muerte.

NIVELES GUÍA DE CALIDAD: Expresiones cualitativas y cuantitativas basadas en información científica relativas a parámetros de calidad químicos, físicos, fisicoquímicos y biológicos que tienen por objetivo salvaguardar los componentes bióticos involucrados en los distintos usos o destinos del agua.

NORMA DE CALIDAD DE AIRE: Se entiende por norma de calidad de aire todo valor límite de la concentración de uno y más contaminantes en la atmósfera.

NÚMERO DE OCTANOS: Es una medida de su aptitud para entregar la mayor cantidad de energía al motor; mide su capacidad antidetonante.

NÚMERO DE CETANO: Este índice guarda relación con el tiempo que transcurre entre la inyección del carburante y el comienzo de su combustión, denominado “Intervalo de encendido”. Una combustión de calidad ocurre cuando se produce una ignición rápida seguida de un quemado total y uniforme del carburante. Es decir, cuanto más elevado es este número.

PLANTA DE DISPOSICIÓN FINAL: Sitios especialmente construidos para el depósito permanente de residuos industriales y de actividades de servicio, que reúnan condiciones tales que se garantice la inalterabilidad de la cantidad y calidad de los recursos naturales, bajo normas de higiene y seguridad ambientales que no pongan en riesgo ni afecten la calidad de vida de la población, en forma significativa.

PLANTA DE TRATAMIENTO: Sitios en los que se modifican las características físicas, la composición química o la actividad biológica de cualquier tipo de residuo industrial y de actividades de servicio, de modo tal, que se eliminen o reduzcan sus propiedades nocivas, peligrosas o tóxicas, o se recupere energía y recursos materiales, o se obtenga un residuo de niveles de riesgo menos, o se lo haga susceptible de recuperación o valorización, o más seguro para su transporte o disposición final, bajo normas de higiene y seguridad ambientales que no pongan en riesgo ni afecten la calidad de vida de la población, en forma significativa.

PRESUPUESTO MÍNIMO: Toda norma que concede una tutela ambiental uniforme o común para todo el territorio nacional, y tiene por objeto imponer condiciones necesarias para asegurar la protección ambiental. En su contenido, debe prever las condiciones necesarias para garantizar la dinámica de los sistemas ecológicos, mantener su capacidad de carga y, en general, asegurar la preservación ambiental y el desarrollo sustentable.

RESIDUO INDUSTRIAL: Cualquier elemento, sustancia u objeto en estado sólido, semisólido, líquido o gaseoso, obtenido como resultado de un proceso industrial, por la realización de una actividad de servicio, o por estar relacionado directa o indirectamente con la actividad, incluyendo eventuales emergencias o accidentes, del cual su poseedor productor o generador no pueda utilizarlo, se desprenda o tenga la obligación legal de hacerlo.

RESIDUO PELIGROSO: Todo material que resulte objeto de desecho o abandono y pueda perjudicar en forma directa o indirecta a seres vivos o contaminar el suelo, el agua, la atmósfera o el ambiente en general.

TRATAMIENTO PRIMARIO: Es el tratamiento físico y/o fisicoquímico de efluentes que remueve los sólidos suspendidos totales, hasta un porcentaje de eliminación de, como mínimo, el cincuenta por ciento (50%) de la masa de los sólidos suspendidos totales, y la carga orgánica total medida en términos de DBO, es reducida en por lo menos un 30 %,

incluyendo también la disposición ambientalmente adecuada de los lodos o sólidos removidos.

TRATAMIENTO SECUNDARIO: Tratamiento de efluentes mediante un proceso generalmente biológico, con sedimentación secundaria u otro, de variada tecnología (como por ejemplo procesos con lodos activados, filtros percoladores o biofiltros, lagunas de oxidación), que permite remover los sólidos suspendidos totales, hasta un porcentaje de eliminación de, como mínimo, el 60 % de la masa de los sólidos suspendidos totales, y la carga orgánica total medida en términos de DBO, es reducida.

78

TRATAMIENTO Terciario: Tratamiento de efluentes que abate adicionalmente sólidos suspendidos, la materia orgánica fina y soluble, orgánicos refractarios, metales pesados, compuestos de nitrógeno y fósforo, como también microorganismos patógenos y contaminantes específicos que no pueden ser removidos por un tratamiento secundario, y se aplica generalmente a continuación de éste. Sin embargo, a veces, los procesos de tratamiento terciario o avanzado, se combinan con el primario o secundario (ejemplo: adición de productos químicos a sedimentadores primarios o a reactores de aireación para remover fósforo) o usados en lugar del tratamiento secundario (ejemplo: tratamiento fitoterrestre del efluente primario).