

Universidad Nacional de Cuyo - Facultad de Ingeniería

Gestión Ambiental

UNIDAD 4:

PROGRAMAS DE VIGILANCIA Y MONITOREO. PROGRAMAS DE RECUPERACIÓN AMBIENTAL. MEDIDAS E INDICADORES

Prof. Dra. Ing. Susana Llamas

CEIRS (Centro de Estudios de Ingeniería de Residuos Sólidos)
Instituto de Medio Ambiente – Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Cuyo
sllamas@uncuyo.edu.ar

UNIDAD 4

PROGRAMAS DE MONITOREO Y RECUPERACIÓN AMBIENTAL. MEDIDAS E INDICADORES

4. INTRODUCCIÓN	3
4.A. PROGRAMAS DE MONITOREO AMBIENTAL.....	3
4.A.1. Definición de variables y parámetros a monitorear	5
4.A.1.1. Variables.....	5
4.A.1.2. Parámetros.....	5
4.A.2. Plan de monitoreo: Programas específicos de monitoreo	5
4.A.2.1. Programa de monitoreo de aire y nivel de ruido.....	6
4.A.2.2. Programa de monitoreo de agua	10
4.A.2.3. Programa de monitoreo de suelo	11
4.A.2.4. Programa de monitoreo de biota	13
4.A.3. Responsable	13
4.A.4. Frecuencias	14
4.A.5. Técnicas.....	14
4.A.6. Presentación de resultados y revisión del plan	15
4.A.7. Mediciones cualitativas.....	15
4.A.8. Mediciones cuantitativas	16
4.A.9. Indicadores.....	16
4.B. PROGRAMAS DE RECUPERACIÓN AMBIENTAL	16
4.B.1. Diagnóstico ambiental.....	17
4.B.2. Diagnóstico técnico	17
4.B.3. Fases del programa de recuperación.....	17
4.B.3.1. Recopilación de información.....	17
4.B.3.2. Preparación del programa de recuperación ambiental	17
4.B.3.3. Acciones de remediación	18
4.B.3.4. Alternativas de remediación (Químicas. Físicas. Biológicas)	18
4.B.3.5. Implementación y seguimiento del programa	19
4.D. Bibliografía	19

UNIDAD 4

PROGRAMAS DE MONITOREO Y RECUPERACIÓN AMBIENTAL. MEDIDAS E INDICADORES

4. INTRODUCCIÓN

El Estudio de Impacto Ambiental es un instrumento preventivo de la gestión ambiental y por esa razón su elaboración debe incluir un Plan de Gestión Ambiental (PGA) que permita verificar que los impactos ambientales identificados y valorados se mantienen en los niveles de aceptación previamente establecidos y aceptados en la Declaración de Impacto Ambiental (DIA).

El PGA está compuesto por el Programa de Monitoreo Ambiental y el Programa de Seguimiento y Control de las Medidas de Mitigación. La finalidad de estos programas es verificar que, durante la ejecución de las etapas de construcción, operación y abandono (desmantelamiento o cierre) del proyecto, las acciones se realicen de acuerdo a los requerimientos contenidos en la Declaración de Impacto Ambiental (DIA).

Por otra parte, el Programa de Recuperación Ambiental, como instrumento correctivo de la gestión ambiental, contiene las medidas necesarias para intervenir sobre el ambiente con el propósito de recuperar, siempre que sea posible, la calidad ambiental inicial de todos los factores impactados por la ejecución del proyecto.

Para la actividad de exploración y explotación de hidrocarburos los objetivos y contenidos del Plan de Mitigación de los impactos ambientales identificados y evaluados durante la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental están establecidos en la Res. Nº 25/04-SEN. Anexo I, que también exige que las medidas propuestas se categoricen de la siguiente manera:

- Preventivas: Presentan los recaudos que se deben implementar para que el efecto de las acciones del proyecto, sobre los factores ambientales, sean nulos o mínimos.
- Mitigadoras: Presentan las actividades necesarias para reducir el impacto sobre los factores ambientales afectados por la realización del proyecto.
- Correctivas: Contienen las medidas para reparar los impactos negativos inevitables que la realización del proyecto produce sobre los factores ambientales.
- Compensadoras: Proponen compensaciones (reemplazo del factor afectado, o pagos monetarios) por los impactos ambientales generados por la realización del proyecto.

4.A. PROGRAMAS DE MONITOREO AMBIENTAL

Los programas de monitoreo ambiental, también conocidos como programas de vigilancia ambiental, son instrumentos preventivos de la gestión ambiental que forman parte del Estudio de Impacto Ambiental. El propósito de los programas de monitoreo es controlar que la calidad ambiental de los factores analizados evolucione según los valores estimados en el Estudio de Impacto Ambiental (Garmendía, et al., 2005).

El cumplimiento de las actividades planificadas en los programas de monitoreo ambiental permite implementar los cambios necesarios cuando se advierte que la evolución de la calidad ambiental de algunos factores analizados excede los valores estimados en el Estudio de Impacto Ambiental.

Cuando no es posible modificar las acciones que ocasionaron los desvíos detectados por el programa de monitoreo ambiental (porque ya fueron realizadas), la autoridad de aplicación puede disponer el cese de la actividad y ordenar la restitución del factor afectado al estado inicial, o exigir la compensación monetaria por el daño ambiental ocasionado.

El programa de monitoreo ambiental contiene las especificaciones técnicas que permiten que las autoridades de control realicen el seguimiento de la actividad cuya habilitación se autorizó por medio de la Declaración de Impacto Ambiental (DIA).

La preparación de los Estudios Ambientales Previos (EAP) y del Programa de monitoreo de obras y tareas de todos proyectos de exploración y explotación de hidrocarburos deben cumplir los requisitos exigidos por las normas de aplicación (Res. Nº 105/92-SEN).

Para los proyectos de exploración y explotación de hidrocarburos la estructura del Estudio Ambiental incluye la presentación de un Plan de Monitoreo Ambiental con los siguientes contenidos: 1) Descripción del plan de monitoreo ambiental. 2) Selección de parámetros a evaluar. 3) Diseño espacial y estadístico del muestreo a realizar para el seguimiento de los parámetros seleccionados. 4) Naturaleza y tipo de análisis a realizar, técnicas analíticas, estándares de confrontación y criterios de manejo de datos. 5) Fundamento de las elecciones realizadas (Res. Nº 25/04-SEN. Anexo I. Fase 4. Verificación de la efectividad del plan de mitigación).

En la República Argentina, las empresas concesionarias de áreas de exploración y explotación de hidrocarburos están obligadas a presentar Informes de Monitoreo anuales, con los contenidos que se indican a continuación:

- 1) *Resultado del monitoreo de impactos*: Relevamiento de los resultados obtenidos a partir del control realizado a la puesta en marcha de las medidas de mitigación propuestas en la Fase 4 del estudio ambiental o del informe de monitoreo anterior. Resultado de muestreos y control de indicadores. Elaboración de conclusiones a partir de todos los resultados.
- 2) *Mantenimiento de instalaciones y producción*: Estado actual de las instalaciones. Detalle de los controles realizados. Verificación de las condiciones de seguridad. Actualización de los datos de producción, tanto en lo referente a caudales, como a calidad, movimiento y disposición.
- 3) *Manejo de efluentes y residuos*: Análisis del destino que se da a los efluentes. Actualización de la caracterización de efluentes y desechos de todo tipo.
- 4) *Manejo de productos químicos*: Inventario de los productos químicos en el área, por lugar de almacenaje. Verificación del cumplimiento de las medidas recomendadas de manipulación y estado de los sitios de almacenaje.
- 5) *Análisis de nuevos impactos*: Inclusión de efectos no contemplados anteriormente y valoración de los impactos correspondientes.
- 6) *Análisis de impactos residuales*: Estudio de la eficiencia observada de las medidas de mitigación adoptadas. En base a esto, se podrá definir si una medida es insuficiente o excesiva, ajustándola.
- 7) *Análisis y ajuste del plan de mitigación*: En base a los ítems 5 y 6, reelaboración del plan de mitigación. En este punto se evaluará también el enriquecimiento logrado por la integración de la experiencia del año anterior a los planes propuestos.
- 8) *Análisis y ajuste del plan de monitoreo*: Introducción de las modificaciones que se consideren necesarias para la mejor evaluación de la eficacia de las medidas de mitigación. Seguimiento de variables e indicadores de eficiencia.
- 9) *Recopilación de tareas de remediación de envergadura*.
- 10) *Informe sobre el abandono de instalaciones*.
- 11) *Seguimiento de la calidad de los recursos naturales*: Los informes de monitoreo deberán incluir los resultados de los muestreos periódicos realizados para evaluar el estado de los recursos, suelo, aguas subterráneas, aguas superficiales, aire y ecosistemas. Deberán incluir el diseño del plan de muestreo, la frecuencia, los sitios de muestreo, las técnicas analíticas, los estándares de confrontación, los desvíos encontrados respecto de los límites permisibles, el tratamiento

estadístico de los datos y los protocolos de laboratorio (estos deberán indicar la calibración de equipos y las certificaciones específicas cubiertas por el laboratorio tipo ISO 17.025).

Se considerarán los impactos en agua, suelos, aire, fauna y flora, aspectos socioeconómicos, comunidades indígenas, paisaje y áreas con protección especial.

La Res. Nº 25/04-SEN en su Anexo I, también establece los criterios a seguir para la elaboración de las medidas de mitigación:

- 1) Deberán ser específicas para cada impacto o grupo de impactos ambientales de naturaleza similar.
- 2) Deberán estar diseñadas para poder evaluar su eficiencia.
- 3) Deberán describir los efectos que se proponen evitar.
- 4) Deberán detallar la prioridad para su ejecución y definir los recursos asociados.
- 5) Deberán definir el carácter de la medida, y la efectividad esperada mencionando los indicadores utilizados para verificar la misma.
- 6) Deberán indicar la frecuencia de monitoreo del avance de la implementación y la frecuencia en el monitoreo de su operación.
- 7) Deberán detallarse las características de la medida propuesta.
- 8) Se deberá mantener un equilibrio entre diversos tipos de medidas de mitigación, siempre que sea posible.
- 9) Se deberán incluir en el plan de medidas de mitigación aquéllas derivadas de los impactos socioeconómicos, culturales y arqueológicos.

4.A.1. Definición de variables y parámetros a monitorear

Los programas de monitoreo ambiental deben definir las variables y los parámetros a monitorear. Para hacerlo es necesario conocer las normas que establecen los límites de aceptación, los niveles de referencia, los valores de intervención, las técnicas y frecuencias de muestreo, las técnicas analíticas, los estándares de confrontación y los criterios de manejo de datos.

4.A.1.1. Variables

Las variables son cantidades susceptibles de tomar diferentes valores numéricos dentro de un conjunto de números especificados. Ejemplo de variables de interés ambiental: temperatura, presión, concentración, velocidad, precipitación, caudal: barriles por minuto (bpm), radiación.

4.A.1.2. Parámetros

Un parámetro es un dato o factor que se toma como necesario para analizar o valorar una situación. Matemáticamente un parámetro es una variable que, dentro de una familia de elementos, sirve para identificarlos mediante su valor numérico (RAE, 2018). Ejemplo de parámetros de interés ambiental: Sólidos Totales (ST). Sólidos Disueltos (SD). Sólidos Sedimentables (SS). Oxígeno Disuelto (OD). Demanda Biológica de Oxígeno (DBO). Demanda Química de Oxígeno (DQO). Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP). pH. Gases de Efecto Invernadero (GEI).

4.A.2. Plan de monitoreo: Programas específicos de monitoreo

El Plan de Monitoreo Ambiental de los impactos identificados y valorados en el Estudio de Impacto Ambiental de un proyecto debe identificar a la organización (empresa) que tiene a su cargo la ejecución del proyecto para el cual se realizó dicho plan. Se declaran sus domicilios legal y real, así como los nombres de los responsables legales y técnicos.

En el Plan de Monitoreo Ambiental (PMA) cada analista debe estar debidamente identificado y habilitado profesionalmente para la tarea. Se describen los programas específicos de monitoreo para cada factor ambiental, el período al que corresponde su realización, las variables a monitorear, las estaciones de monitoreo, la periodicidad de lecturas, muestreos o registros, las normas a emplear, las técnicas e

instrumentos de análisis a utilizar, los límites de los métodos de análisis, la sensibilidad del instrumental, la calibración de los instrumentos de medición.

Las tareas de monitoreo de los factores ambientales se organizan en dos etapas:

- 1) **Trabajo de campo:** Se identifica al responsable de la campaña, la fecha de realización y la duración, descripción del estado de los accesos a las instalaciones a monitorear, detalle de los recorridos realizados, obtención de material fotográfico, ubicación de las estaciones de monitoreo, técnicas utilizadas para la obtención de muestras, datos o registros, especificación del instrumental utilizado.
- 2) **Trabajos de gabinete:** Aquí se debe explicar cómo se realizó el procesamiento de la información recopilada, los cálculos técnicos realizados, las normas consultadas, las técnicas de análisis utilizadas, la interpretación de los resultados obtenidos con respecto a la situación ambiental inicial de cada factor monitoreado.

Un Plan de Monitoreo se compone de tantos programas específicos como factores ambientales se deban analizar. El análisis de los factores ambientales se estructura según el siguiente esquema (Conesa Fdez.-Vítora, 2010):

- 1) **Definiciones:** Presentación de la definición general del factor, de los parámetros específicos en que se divide el factor y la de cualquier otro concepto de conocimiento imprescindible para una buena comprensión metodológica.
- 2) **Contaminantes:** Definición y relación de los contaminantes físicos, químicos y biológicos que interfieren desfavorablemente en el factor, degradando su calidad ambiental.
- 3) **Indicador de impacto y unidad de medida:** Definición del indicador o indicadores que miden el impacto. El indicador que mide el grado de contaminación del factor contaminado, puede responder a una ecuación matemática (Índice de Calidad del Agua), al valor de la presencia de un contaminante concreto (número de especies por unidad de superficie, concentración, porcentaje, u otros) o a estimaciones subjetivas (composición paisajística, sensaciones). A cada indicador cuantificable le corresponde una unidad de medida (valor de un índice, %, mg/l, °C, Km, otros).
- 4) **Focos de contaminación:** Se exponen las posibles fuentes productoras de los contaminantes definidos en el punto 2).
- 5) **Efecto sobre el ambiente:** Los contaminantes no solo interfieren negativamente en el factor, sino que se pueden producir efectos multiplicadores sobre el ambiente en general, produciendo impactos directos, secundarios, sinérgicos, u otros.
- 6) **Función de transformación:** Para cada factor estudiado se definió una o varias funciones de transformación, de manera que cada magnitud del indicador del impacto, expresada en unidad correspondiente, se corresponde con una magnitud de calidad ambiental expresada en valores de 0 a 1. La calidad ambiental será función de la magnitud del indicador de impacto; esa función estará representada gráficamente por la curva correspondiente.
- 7) **Medidas preventivas y correctoras:** Las medidas preventivas son todas aquellas modificaciones introducidas en el proyecto para que no ocurran efectos negativos sobre determinados factores que sí se producirían en el caso de aquellas no se establecieran. Las medidas correctoras introducen modificaciones que reducen o mitigan los efectos negativos de otras acciones propias del proyecto.

4.A.2.1. Programa de monitoreo de aire y nivel de ruido

El programa de monitoreo de calidad del aire se prepara a partir de la información contenida en el Estudio de Impacto Ambiental para controlar que el impacto de las acciones del proyecto sobre dicho factor se mantenga por debajo de los niveles estimados para todas de las acciones del proyecto, durante sus etapas de ejecución. La contaminación del aire se refiere a su alternación por adición de gases, partículas sólidas o líquidas en suspensión en proporciones diferentes a las naturales.

Se utilizan las normas de calidad del aire según su composición y con base en su aceptabilidad para usos específicos.

Monitoreo de Calidad del Aire

1. **Definiciones:** El aire es una mezcla de elementos **constantes** (Nitrógeno, Oxígeno y gases nobles), cuyas proporciones son prácticamente invariables y de elementos **accidentales** (CO₂, CO, NO_x, SO₂, O₃, vapor de agua, otros) cuya cantidad es variables según el lugar y el momento considerados. Se denomina **contaminación atmosférica** a la presencia *en el aire* de sustancias y formas de energía introducidas, directa o indirectamente, por la actividad antrópica y que alteran su calidad de manera tal que implique riesgo, daño o molestia grave para las personas o el ambiente en su conjunto. La contaminación del aire es el resultado de fenómenos complejos derivados de una gran cantidad de causas y efectos, generalmente asociados a la actividad humana y a la emisión de contaminantes a la atmósfera.
 - 1.1. La **Contaminación de base**, es la que existe en un área definida, en la situación preoperacional (antes de instalar un nuevo foco de contaminación).
 - 1.2. **Nivel de emisión**, es la cantidad de un contaminante emitido a la atmósfera, por una fuente fija o móvil, medida en la unidad de tiempo.
 - 1.3. **Nivel de inmisión**, es la cantidad de contaminantes sólidos, líquidos o gaseosos, medida en peso en volumen por unidad de volumen de aire, existente entre cero y dos metros de altura sobre el suelo.
 - 1.4. **Nivel máximo admisible de emisión**, es la cantidad máxima de un contaminante del aire que la Ley permite emitir hacia la atmósfera exterior. Se establece un límite para la emisión instantánea y otro para valores medios en diferentes intervalos de tiempo.
2. **Contaminantes:** Según la naturaleza del contaminante, se los divide en dos grandes grupos:
 - 2.1. **Formas de energía:** Radiaciones ionizantes. Ruido.
 - 2.2. **Sustancias químicas:** Las sustancias químicas, a su vez, se clasifican en:
 - 2.2.1. **Contaminantes primarios:** Sustancias vertidas directamente a la atmósfera desde los focos contaminantes: Aerosoles. Gases. Otras sustancias.
 - 2.2.2. **Contaminantes secundarios:** Sustancias que no se vierten directamente a la atmósfera desde los focos contaminantes, sino que se producen como consecuencia de las transformaciones y reacciones químicas y fotoquímicas que sufren los contaminantes primarios: (Contaminación fotoquímica. Acidificación. Disminución de la capa de Ozono. Otros).
3. **Indicador de impacto y unidad de medida:** Se utilizan modelos de difusión físico-matemáticos para determinar el impacto ambiental que una o varias actividades pueden causar en el área afectada o de posible modificación.
 - 3.1. **Indicador general:** El indicador de mayor utilización es el **Índice de Calidad del Aire (ICAIRE)** que toma valores de 0 a 100 (Conesa Fdez.-Vítora, 2010, p. 486).

$$ICAIRE = K \sum C_i P_i / \sum P_i$$

Donde:

C_i: Valor porcentual asignado a los parámetros tabulados.

P_i: Peso asignado a cada parámetro.

K: Constante que toma alguno de los siguientes valores: 0,75 (aire con ligero olor no agradable). 0,50 (aire con olor desagradable). 0,25 (aire con fuertes olores desagradables). 0,00 (aire con olor insoportable para el ser humano).

- 3.2. **Indicador Oak Ridge Air Quality Index (ORAQUI):** Es la suma ponderada de la contribución de cada uno de los cinco contaminantes principales (SO₂. Partículas en Suspensión PM. NO₂. CO. C_nH_n). Toma valores de 0 (aire limpio) a 50 (aire contaminado con las 5 concentraciones de los parámetros, iguales a las estándar).

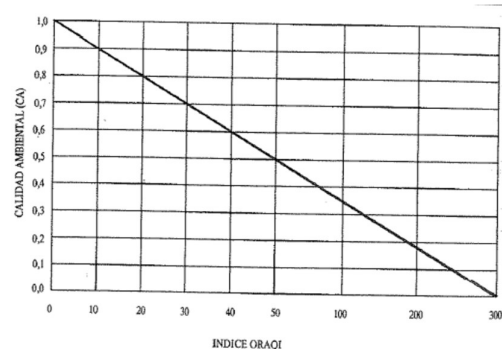
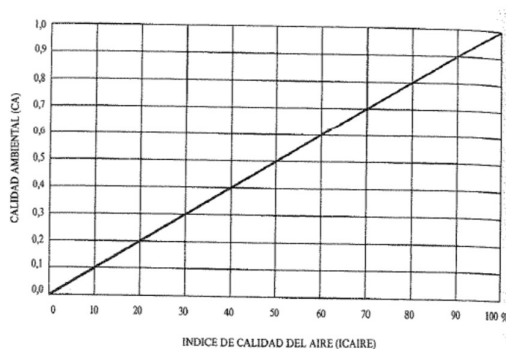
$$ORAQUI = \left[3,5 \sum_i C_i / C_s \right]^{1,37}$$

Donde:

C_i: Valor analítico de la concentración medida.

C_s: Valor de la concentración estándar (valores correspondientes aproximadamente al valor porcentual 50 establecido en la Tabla (Conesa Fdez.-Vítora, 2010, p. 486).

4. **Focos de contaminación:** Las principales fuentes de contaminación son:
- 4.1. **Naturales:** Volcanes. Incendios forestales. Descomposición de la materia orgánica en el suelo y en océanos. Brumas. Meteoritos. Otros.
- 4.2. **Antropogénicas:**
- 4.2.1. **Focos fijos:** Industriales (óxidos de azufre, CO, sólidos en suspensión). Refinación de petróleo (SO₂, C_nH_n, NO_x, partículas, aldehídos, NH_n, CO, olores).
- 4.2.2. **Focos móviles:** Vehículos automotores. FFCC. Aeronaves. Buques (CO. SO₂. NO. C_nH_n).
- 4.2.3. **Focos compuestos:** Parques industriales. Áreas urbanas. Otros.
5. **Efecto sobre el medio (ambiente):** Sobre la visibilidad. Incidencia sobre la salud y el bienestar humano. Sobre la meteorología y el clima. Sobre los materiales. Sobre los ecosistemas terrestres y acuáticos. Sobre la estratosfera. Dispersión y arrastre. Acumulación. Persistencia. Producción de sustancias secundarias más tóxicas.
6. **Función de transformación:**



7. **Medidas preventivas y correctoras:** Programas de control y vigilancia de la calidad del aire. Redes de vigilancia de la calidad del aire. Tecnologías de baja y nula emisión. Cambios y correcciones en procesos industriales. Instalación de chimeneas adecuadas. Concentrar y retener contaminantes con equipos adecuados de depuración. Empleo de motores ecológicos. Control de emisiones por evaporación desde los depósitos de combustible. Uso de energías alternativas. Otras.

Monitoreo de Ruidos

1. **Definiciones:** El sonido es toda variación de presión en cualquier medio, capaz de ser detectada por el ser humano. El ruido es todo sonido indeseable para quien lo percibe.

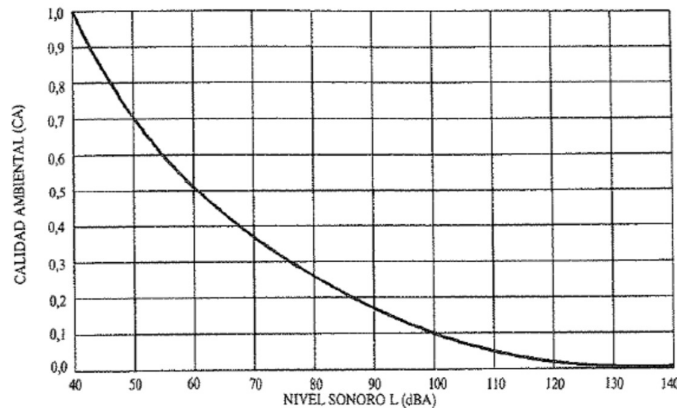
2. **Contaminantes:** Son contaminantes acústicos todos aquellos estímulos que, de manera directa o indirecta, interfieren desfavorablemente con el ser humano, a través del sentido del oído dando lugar a sonidos indeseables o ruidos.
3. **Indicador de impacto y unidad de medida:** El indicador de impacto que se toma es el **nivel de presión acústica (L)** y, como unidad de medida, se adopta el **decibelio (dB)**.

$$L = 10 \log(P/P_0)^2$$

P: es la presión eficaz del sonido medido. (P₀) la presión acústica de referencia, que corresponde a la menor presión acústica que un oído joven y sano puede detectar en condiciones ideales (2x10⁻⁴ μbar).

4. **Focos de contaminación:** Las principales fuentes productoras de ruido que afectan a la población se pueden dividir en tres grandes grupos:
 - 4.1. **Medios de transporte:** Automóviles. FFCC. Aeronaves. Otros.
 - 4.2. **Industria y construcción:** Maquinaria y equipos industriales. Obra civil. Construcción de edificios. Otros).
 - 4.3. **Instalaciones y servicios:** Aire acondicionado. Bombas. Motores. Otros.
5. **Efecto sobre el medio (ambiente)**
 - 5.1. **En el organismo:** Reversibles e irreversibles (Fisiológicos. Psicológicos).
 - 5.2. **En la comunidad:** Perturbación de actividades. Acumulativos. Otros.
 - 5.3. **Psico-Sociales:** Molestia extendida. Irritantes. Otros.

6. **Función de transformación:**



Indices correctores del nivel medido		Tipología de la CA	
• Noche	+ 10 dBA	Optima	0,8 - 1,0
• Tiempo exposición		Buena	0,6 - 0,8
20 - 50 %	+ 3 dBA	Aceptable	0,4 - 0,6
50 - 80 %	+ 6 dBA	Baja	0,2 - 0,4
80 - 95 %	+ 9 dBA	Inaceptable	0,0 - 0,2
95 - 100%	+ 12 dBA		
• Situaciones críticas	+ 5-15 dBA		

7. **Medidas preventivas y correctoras:** Planificación urbana. Diseño arquitectónico. Mapas acústicos. Barreras y/o paneles acústicos.

4.A.2.2. Programa de monitoreo de agua

Se entiende por calidad natural del agua al conjunto de características físicas, químicas y bacteriológicas que presenta el agua en su estado natural en los ríos, lagos, manantiales, en el subsuelo o en el mar. El agua no se encuentra naturalmente en estado puro y siempre contiene cierto número y cantidad de sustancias que provienen de diversas fuentes.

Monitoreo de Calidad del Agua

1. Definiciones: La calidad del agua siempre está referida al uso que se le dará (bebida, riego, industria, otros), por lo que el agua puede estar contaminada para un uso determinado, pero puede ser admisible para otro fin. Interesa conocer la calidad del agua desde diferentes puntos de vista:
 - 1.1. Uso fuera del lugar donde se encuentra (agua potable, usos domésticos, urbanos e industriales, agrícolas y ganaderos).
 - 1.2. Uso del curso o masa de agua (baño, navegación, pesca, otros).
 - 1.3. Uso como medio acuático (peces, especies acuáticas).
 - 1.4. Uso como receptor de efluentes residuales de origen doméstico o industrial.
2. Contaminantes: Son contaminantes del agua todos aquellos compuestos que modifican su composición o estado y disminuyen su aptitud para alguno de sus usos posibles:
 - 2.1. Sólidos en suspensión: suelos, minerales, subproductos industriales, otros.
 - 2.2. Elementos que modifican su color: químicos, temperatura, otros.
 - 2.3. Compuestos inorgánicos: sales, ácidos, metales, otros.
 - 2.4. Nutrientes: compuestos de Nitrógeno, Fósforo, Potasio, otros.
 - 2.5. Residuos que demandan Nitrógeno: materias orgánicas putrescibles reducidas por bacterias aeróbicas, que requieren Oxígeno disuelto.
 - 2.6. Compuestos orgánicos tóxicos: detergentes, plaguicidas, subproductos industriales, otros.
 - 2.7. Contaminantes biológicos: bacterias y virus, productores de enfermedades, otros.
3. Indicadores de impacto y unidad de medida: Se definen índices de las medidas de ciertos parámetros físicos, químicos o biológicos en la situación operacional, con referencia a otra situación que se considera admisible o deseable y que viene definida por ciertos estándares o criterios: DBO, sólidos disueltos y en suspensión, compuestos de Nitrógeno, Fósforo, Azufre y Cloro, pH, Dureza, Turbidez, Conductividad, Elementos tóxicos, Elementos patógenos.
 - 3.1. **Indicador general: Índice de Calidad del Agua (ICA)**: Basado en el indicador de Martínez de Bascarón (1979), que proporciona un valor global de la calidad del agua, incorporando los valores individuales de una serie de parámetros.

$$ICA = K \frac{\sum C_i P_i}{\sum P_i}$$

Donde:

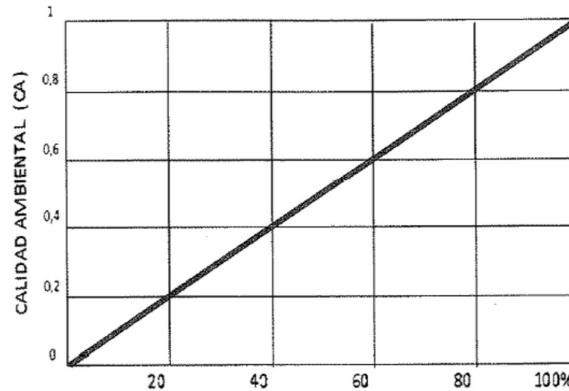
C_i : Valor porcentual asignado a los parámetros presentados en la Tabla I (Conesa Fdez.-Vítora, 2010, p. 497).

P_i : Peso asignado a cada parámetro.

K : Constante que toma los siguientes valores: 1,00 (aguas claras sin contaminación aparente). 0,75 (aguas con ligero color, espumas, ligera turbidez aparente o natural). 0,50 (agua con apariencia de estar contaminada y fuerte olor). 0,25 (aguas negras que presentan fermentaciones y olores).

4. Focos de contaminación: Con base en los siete grupos de contaminantes presentados en el punto 2 y, siguiendo el mismo orden, se presentan los focos que son capaces de producirlos:

- 4.1. Erosión, inundaciones, efluentes de plantas de celulosa, otros.
- 4.2. Plantas de energía, fábricas de acero, refinerías, unidades de refrigeración, otros.
- 4.3. Minería, procesos industriales, depósitos naturales, agua de riego.
- 4.4. Aguas residuales urbanas e industriales, aguas procedentes de riego con arrastre de fertilizantes, otros.
- 4.5. Residuos domésticos y de industrias alimentarias.
- 4.6. Efluentes domésticos, industriales y de explotaciones agropecuarias.
- 4.7. Residuos humanos, de animales y de industrias cárnicas y mataderos.
5. Efecto sobre el medio (ambiente):
 - 5.1. Obstrucción o relleno de corrientes, lagos, embalses y canales.
 - 5.2. Reducción del Oxígeno disuelto.
 - 5.3. Interferencia en procesos de fabricación.
 - 5.4. Excesivo crecimiento de la vida vegetal acuática.
 - 5.5. Daño a la pesca.
 - 5.6. Amenaza a la pesca y a la vida silvestre.
 - 5.7. Necesidad de tratamiento intenso del agua para hacerla potable.
6. Función de transformación:



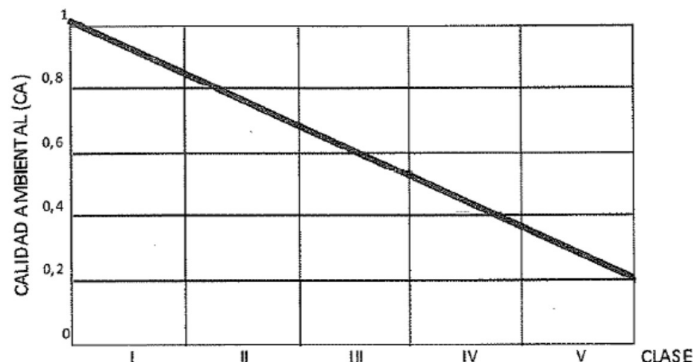
7. Medidas preventivas y correctoras:
 - 7.1. **Aguas superficiales:** Reducción del volumen de vertidos y de su carga contaminante. Implantación de instalaciones de tratamiento de vertidos. Eliminación de aguas residuales sin tratamiento previo.
 - 7.2. **Aguas subterráneas:** Organización especial de actividades. Perímetros de protección. Impermeabilización. Depuración natural y artificial. Reducción de cantidades de vertidos. Aplicación de técnicas de vertido controladas. Intercepción de contaminantes. Creación de barreras subterráneas.

4.A.2.3. Programa de monitoreo de suelo

El suelo como cuerpo natural, organizado y dinámico, se caracteriza por presentar cierta fragilidad definida por una serie de características intrínsecas.

Monitoreo de Calidad del Suelo

1. **Definiciones:** La Capacidad Ambiental de un Suelo es el conjunto de elementos, características y procesos, que le otorgan una serie de cualidades y méritos en los que se basa su necesidad de conservación.
 - 1.1. Erosionabilidad: considera al suelo como cuerpo natural que presenta cierta fragilidad.
 - 1.2. Valor ecológico: sujeto a un proceso de evolución biológica, estrechamente relacionado con otros constituyentes del ecosistema.
 - 1.3. Fertilidad natural: considerado como soporte y fuente de nutrientes de las plantas.
 - 1.4. Singularidad: con relación a los aspectos de rareza o escasez que pueden hacer que un suelo resulte especial para un determinado marco ambiental.
2. **Contaminantes:** Son contaminantes del suelo todos aquellos elementos físicos, biológicos, técnicos y económicos que de manera directa o indirecta inciden negativamente sobre sus cualidades o méritos.
3. **Indicador de impacto y unidad de medida:** Se toma como indicador del impacto el Índice de Capacidad Ambiental del Suelo (ICS) que se obtiene a través de un modelo matemático en el que intervienen la erosionabilidad, el valor ecológico, la fertilidad y, en algunos casos, la singularidad.
4. **Focos de contaminación:** Son todas las posibles fuentes productoras de elementos físicos, biológicos, técnicos y económicos que inciden negativamente en la erosionabilidad, el valor ecológico, la fertilidad natural y la singularidad de los suelos.
5. **Efecto sobre el medio (ambiente):**
 - 5.1. Sobre la visibilidad.
 - 5.2. Riesgo de inundaciones.
 - 5.3. Pérdida de suelo vegetal.
 - 5.4. Disminución de la capacidad de retención del agua.
 - 5.5. Alteración de procesos ecológicos.
6. **Función de transformación:**



7. **Medidas preventivas y correctoras:**
 - 7.1. **Medidas contra la erosión:** Control del tipo de cubierta vegetal. Cultivo de fajas, terrazas, colectores y construcciones especiales que actúen contra la erosión.
 - 7.2. **Medidas en favor de la calidad ecológica:** Planificación del uso del suelo. Tecnologías de baja o nula emisión de residuos. Instalaciones para el tratamiento de vertidos y reducción del volumen.

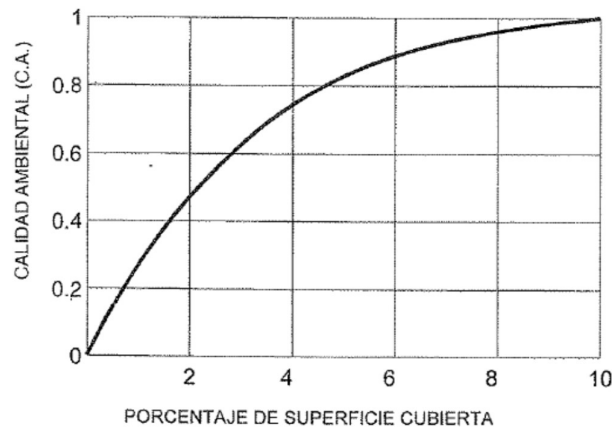
7.3. **Medidas en favor de la fertilidad:** Bioensayos. Cambios en los sistemas básicos de usos del agua. Mejora de la textura y estructura. Enriquecimiento y mantenimiento del contenido de materia orgánica.

7.4. **Medidas en favor de la singularidad:** Actuaciones que prevean o impidan la posibilidad de desvíos de flujos de agua o la desecación de superficies de agua, la destrucción de puntos o zonas de interés geológico, morfológico, los procesos que reducen la capacidad agrícola del suelo.

4.A.2.4. Programa de monitoreo de biota

Monitoreo de la Cubierta Vegetal

1. Definiciones: Se entiende como cubierta vegetal el manto vegetal de un territorio dado.
2. Contaminantes: Son contaminantes de la cubierta vegetal todas aquellas acciones físicas y biológicas que transforman o destruyen la cubierta vegetal (Contaminantes atmosféricos. Fuego. Contaminantes de aguas. Contaminantes de suelos. Microorganismos. Otros).
3. Indicador de impacto y unidad de medida: Se basa en una metodología que considera el Interés y la Densidad. El Interés se refiere a la calidad o rareza de las especies presentes. La Densidad se refiere al porcentaje de la superficie total considerada, cubierto por la proyección horizontal de la vegetación.
4. Focos de contaminación: Emisiones industriales y urbanas. Incendios. Degradación o pérdida del suelo. Sobreexplotación. Enfermedades y plagas. Otros.
 - 4.1. Efecto sobre el medio (ambiente): Disminución e incluso la anulación de la productividad agrícola y forestal. Reducción de la fijación y reciclaje del CO₂ atmosférico.
5. Función de transformación:



6. Medidas preventivas y correctoras:

Planes de protección para disminuir el riesgo de desertificación. Conservación y reconstrucción de suelos. Protección contra incendios. Otras.

4.A.3. Responsable

La **responsabilidad de controlar** el cumplimiento de los programas de monitoreo ambiental es de la autoridad correspondiente, mientras que el **cumplimiento es responsabilidad del promotor del proyecto**. Es decir, el promotor debe ejecutar o contratar a alguien que realice regularmente las inspecciones necesarias para detectar irregularidades en la ejecución del proyecto e informar de las mismas para que puedan ser subsanadas (Garmendía, *op. cit.*, 2005).

En la República Argentina la Resolución Nº 7/2017 del Consejo Profesional de Ingeniería Química creó el Registro Nacional de Tomadores de Muestras (RENATOM) cuyo objeto es registrar a todos los

profesionales que realicen toma de muestras para su posterior análisis químico, físico, fisicoquímico, biológico, toxicológico, microbiológico, pericial, ambiental y otros de competencia de los profesionales de la Química.

4.A.4. Frecuencias

La recolección de las muestras depende de los procedimientos analíticos empleados y de los objetivos del estudio.

El objetivo del muestreo es obtener una parte representativa del material bajo estudio (cuerpo de agua, efluente industrial, agua residual, u otros), para la cual se analizarán las variables fisicoquímicas de interés. El volumen del material captado se transporta hasta el lugar de almacenamiento (cámara frigorífica, conservadora, heladera, etc.), para luego ser transferido al laboratorio para el respectivo análisis, momento en el cual la muestra debe conservar las características del material original. Para lograr el objetivo se requiere que la muestra conserve las concentraciones relativas de todos los componentes presentes en el material original y que no hayan ocurrido cambios significativos en su composición antes del análisis.

En algunos casos, el objetivo del muestreo es demostrar que se cumplen las normas especificadas por la legislación (resoluciones de las autoridades ambientales). Las muestras ingresan al laboratorio para determinaciones específicas, sin embargo, la responsabilidad de las condiciones y validez de las mismas debe ser asumida por las personas responsables del muestreo, de la conservación y el transporte de las muestras. Las técnicas de recolección y preservación de las muestras tienen una gran importancia, debido a la necesidad de verificar la precisión, exactitud y representatividad de los datos que resulten de los análisis.

El muestreo incluye la obtención de la muestra, la conservación, el traslado y el análisis de la misma. El muestreo debe ser representativo para que la muestra, o grupo de muestras, reflejen con precisión la concentración y el estado de cualquier componente en un determinado lugar y tiempo. Los resultados obtenidos de las muestras representativas deben mostrar las variaciones de los contaminantes y sus concentraciones.

El proceso de control y vigilancia del muestreo, preservación y análisis (*chain-of custody procedure*) es esencial para asegurar la integridad de la muestra desde su recolección hasta el reporte de los resultados; incluye la actividad de seguir o monitorear las condiciones de toma de muestra, preservación, codificación, transporte y su posterior análisis. Este proceso es básico e importante para demostrar el control y confiabilidad de la muestra no sólo cuando hay un litigio involucrado, sino también para el control de rutina de las muestras. Se considera que una muestra está bajo la custodia de una persona si está bajo su posesión física individual, a su vista, y en un sitio seguro.

4.A.5. Técnicas

Muestreo manual: El muestreo manual requiere de un mínimo de equipo, pero para programas de muestreo a gran escala o de rutina puede ser excesivamente costoso.

Muestreo automático: Los equipos de muestreo automático pueden eliminar errores humanos, inherentes al muestreo manual, reducen los costos y permiten aumentar la frecuencia del muestreo. El muestreador no debe contaminar las muestras, es el caso de los recipientes plásticos incompatibles para almacenar muestras que contienen compuestos orgánicos y que solubilizan los componentes plásticos.

Muestra simple o puntual: Una muestra representa la composición original para el lugar, tiempo y circunstancias particulares en las que se realizó su captación. Cuando la composición de una fuente es relativamente constante a través de un tiempo prolongado o a lo largo de distancias sustanciales en todas las direcciones, puede decirse que la muestra representa un intervalo de tiempo o un volumen más extensos.

Muestras compuestas: En la mayoría de los casos, el término "*muestra compuesta*" se refiere a una combinación de muestras sencillas o puntuales tomadas en el mismo sitio durante diferentes momentos. Algunas veces el término "*compuesta en tiempo (time-composite)*" se usa para distinguir este tipo de muestras de otras. La mayor parte de las muestras compuestas en el tiempo se emplean para observar concentraciones promedio, usadas para calcular las respectivas cargas o la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales. El uso de muestras compuestas representa un ahorro sustancial en costo y esfuerzo del laboratorio comparativamente con el análisis por separado de un gran número de muestras y su consecuente cálculo de promedios.

Muestras integradas: Para ciertos propósitos, es mejor analizar mezclas de muestras puntuales tomadas simultáneamente en diferentes puntos, o lo más cercanas posible. Un ejemplo de la necesidad de muestreo integrado ocurre en ríos o corrientes que varían en composición a lo ancho y profundo de su cauce. Para evaluar la composición promedio o la carga total, se usa una mezcla de muestras que representan varios puntos de la sección transversal, en proporción a sus flujos relativos. La necesidad de muestras integradas también se puede presentar si se propone un tratamiento combinado para varios efluentes residuales separados, cuya interacción puede tener un efecto significativo en la tratabilidad o en la composición. La predicción matemática puede ser inexacta o imposible, mientras que la evaluación de una muestra integrada puede dar información más útil.

4.A.6. Presentación de resultados y revisión del plan

La presentación de los resultados obtenidos durante la realización de los Programas de Monitoreo, que integran el Plan de Gestión Ambiental de una organización, deben presentar la situación objetiva de cada uno de los factores ambientales que fueron medidos en el período que se informa.

Cada Programa de Monitoreo debe contener la definición del factor ambiental que se analiza, la de los parámetros específicos en que se divide el factor, la de los contaminantes físicos, químicos y biológicos que interfirieron desfavorablemente en el factor, degradando su calidad ambiental inicial.

El informe debe incluir la definición del indicador o indicadores empleados, las unidades de medida correspondientes, las mediciones y los cálculos realizados.

Se debe informar sobre los focos de contaminación identificados, indicando sus características, ubicación, momento de las mediciones, formas de emisión, duración de la contaminación y toda otra información obtenida.

Se deben explicar los efectos de cada contaminante, identificado y medido, sobre la calidad ambiental del factor en estudio. Esta explicación debe diferenciar entre impactos directos, secundarios, sinérgicos, u otros, según la expresión matemática del indicador correspondiente al factor ambiental analizado. Se presenta la función de transformación utilizada para expresar el valor del impacto sobre el factor en estudio en unidades de Calidad Ambiental.

Con base en los valores y resultados obtenidos, se presentan las medidas propuestas para prevenir o corregir los impactos ambientales sobre el factor analizado en el período correspondiente.

El informe debe identificar al responsable de cada muestreo realizado, explicar el método de muestreo empleado para obtener cada muestra o registro, la forma de transporte y conservación de las muestras desde su obtención hasta el ingreso al laboratorio, las técnicas analíticas e instrumentales utilizadas, los equipos empleados, las normas utilizadas y toda otra información necesaria para la reproducción de los resultados obtenidos.

4.A.7. Mediciones cualitativas

Las medidas cualitativas son formas de obtener un conocimiento más profundo de un tema. En general se las utiliza cuando se busca encontrar un significado detrás un determinado fenómeno o cuando se investiga un nuevo tema sobre el que se sabe poco. Las medidas cualitativas suelen tratar con datos o palabras textuales.

4.A.8. Mediciones cuantitativas

Cuantitativo es un adjetivo que está vinculado a la cantidad. Este concepto, por su parte, hace referencia a una cuantía, una magnitud, una porción o un número de cosas. Las mediciones cuantitativas presentan información sobre una cierta cantidad. Con estas mediciones se utilizan valores numéricos, empleando datos provenientes de fuentes de información de los parámetros medidos. La calidad de la medición cuantitativa dependerá de la exactitud de la información empleada para la medición.

4.A.9. Indicadores

El término indicador ambiental se puede definir como *“una medida directa o indirecta de la calidad ambiental que se puede usar para evaluar el estado y las tendencias en la capacidad del ambiente para contribuir con la salud humana y ecológica”*.

La Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE, 2003) define un indicador como *“un parámetro o un valor derivado de parámetros, que sugiere, proporciona información acerca de, o describe el estado de un fenómeno, el ambiente o un área, con un significado que se extiende más allá de que estén directamente vinculados con el valor de un parámetro”*.

Teniendo presente las definiciones anteriores, un indicador de calidad de agua es un *“parámetro o valor derivado de parámetros que sugiere, proporciona información de, o describe el estado de, calidad de las aguas que se estén estudiando”*.

Los indicadores ofrecen una visión de las condiciones y presiones ambientales y respuestas de la sociedad o gobierno, son sencillos, fáciles de interpretar y capaces de mostrar las tendencias temporales, responden a cambios en el ambiente y las actividades humanas relacionadas, proporcionan una base para las comparaciones internacionales y son aplicables a escala nacional o regional. Todas estas características hacen que sean útiles para monitorear las condiciones en las que se encuentran los factores ambientales.

Son puntos de referencia, que brindan información cualitativa o cuantitativa, conformada por uno o varios datos, constituidos por percepciones, números, hechos, opiniones o medidas, que permiten seguir el desenvolvimiento de un proceso y su evaluación, y que deben guardar relación con el mismo.

Los indicadores, llamados de cumplimiento, muestran cómo se desarrolla lo que se está investigando, a través del monitoreo de sus metas parciales. Los indicadores de efecto, miden si se cumplieron los objetivos específicos, y los indicadores de impacto, los objetivos generales. Estos dos últimos son llamados indicadores de evaluación.

4.B. PROGRAMAS DE RECUPERACIÓN AMBIENTAL

Los programas de recuperación ambiental son instrumentos correctivos de la gestión ambiental cuya finalidad es recuperar, siempre que sea posible, la calidad ambiental de los factores afectados por los contaminantes asociados al desarrollo de una actividad para mantenerlos en los valores admitidos en la Declaración de Impacto Ambiental.

La recuperación de sitios contaminados consiste en la implementación de medidas dirigidas a reponer a su estado primitivo los componentes del ambiente que resultaron afectados por la realización de un proyecto, obra o actividad (Llamas, *et al.*, 2011). Cuando se identifica la presencia de contaminantes en un sitio bajo estudio, el programa de recuperación ambiental se ocupa de revertir los impactos producidos por tal situación y de restituir las características que el entorno poseía antes de la intervención.

Se considera sitio contaminado a todo aquel lugar, espacio, suelo, cuerpo de agua, instalación o cualquier combinación de éstos cuyas características físicas, químicas o biológicas resultaron alteradas negativamente por la presencia de contaminantes originados por la realización de actividades antrópicas y que, en función del uso actual o previsto del sitio y sus alrededores, representa un peligro para la salud humana o el ambiente (SAyDS 2006, SEMARNAT 2009).

4.B.1. Diagnóstico ambiental

El diagnóstico ambiental está constituido por el conjunto de datos, estudios, análisis y propuestas de actuación obtenidos del programa de monitoreo. El diagnóstico ambiental permite conocer la calidad ambiental de los factores impactados por la realización del proyecto.

Se realiza para determinar la situación ambiental particular de los factores incluidos en el plan de gestión ambiental de un proyecto en área de influencia, para un momento específico. Su finalidad es establecer las dimensiones y el área de influencia del sitio afectado por los contaminantes generados por el desarrollo de un proyecto, describir el entorno e identificar las características de los contaminantes presentes.

4.B.2. Diagnóstico técnico

El diagnóstico técnico para la implementación del programa de recuperación ambiental de un sitio contaminado se realiza en etapas y se inicia con la caracterización del área de influencia. Para abordar la recuperación de un sitio contaminado es necesario elegir un método de trabajo y adoptar criterios para su recuperación. La realización del diagnóstico técnico emplea diferentes elementos, entre ellos la modelación del terreno por medio de levantamientos planialtimétricos para conocer la superficie afectada, el relieve general y la pendiente del área de trabajo (Llamas, *et al.*, 2013).

La recuperación de sitios contaminados es una medida correctiva que se aplica para eliminar, mitigar o controlar el impacto ambiental causado por los contaminantes identificados.

4.B.3. Fases del programa de recuperación

La planificación del conjunto de trabajos a realizar en el sitio es el primero de los objetivos de la investigación. La investigación del sitio es un procedimiento secuencial e iterativo que permite articular el conjunto de los trabajos, establecer objetivos específicos y definir criterios para la toma de decisiones.

4.B.3.1. Recopilación de información

Este procedimiento incluye la recopilación, generación y evaluación de los datos obtenidos para obtener un diagnóstico preliminar.

La realización del diagnóstico preliminar constituye la base para el desarrollo posterior del programa de recuperación ambiental. La confiabilidad del diagnóstico se relaciona con la calidad, consistencia y pertinencia de la información empleada. Finalmente, y sólo después de haber concluido la investigación del sitio, se proponen y adoptan las medidas correctivas para implementar el programa de recuperación y reducir el impacto ambiental de los contaminantes identificados.

El diagnóstico preliminar permite delimitar el área de estudio, comprobar la localización y la naturaleza de los contaminantes, identificar y localizar el origen de la contaminación, relevar y caracterizar los contaminantes presentes por medio de la realización de campañas de muestreo para obtener una profunda caracterización del medio físico.

Al finalizar la etapa de investigación preliminar se elabora un informe que contiene el detalle de la información recopilada, las tareas desarrolladas, la descripción del sitio, su entorno y de los contaminantes presentes, las conclusiones y la interpretación de los resultados.

4.B.3.2. Preparación del programa de recuperación ambiental

Una vez confirmada la presencia de contaminantes en concentraciones superiores a las aceptadas en la Declaración de Impacto Ambiental, la planificación de la investigación detallada del sitio debe considerar los motivos particulares que justifican su evaluación (CEMA, 2009), algunos de los cuales se presentan a continuación:

- 1) Establecer el estado ambiental de un sitio antes de la realización de una operación inmobiliaria o, antes de definir el cambio de uso del suelo.
- 2) Elaborar un inventario de sitios potencialmente contaminados.
- 3) Demostrar si la contaminación del suelo, el subsuelo y el agua superficial o subterránea es atribuible o no a la actividad en estudio.

- 4) Recopilar y generar datos útiles para el diseño posterior de un plan de recuperación.
- 5) Realizar una auditoría ambiental.
- 6) Identificar la responsabilidad histórica de un pasivo ambiental.
- 7) Otros.

Un programa de recuperación ambiental se ocupa de reducir los impactos ambientales de los contaminantes presentes en el sitio bajo estudio.

4.B.3.3. Acciones de remediación

El programa de recuperación ambiental es la base para la toma de decisiones relacionadas con su aceptabilidad y con las medidas a adoptar, teniendo en cuenta criterios sociales, económicos y tecnológicos.

La aplicación de este programa permite definir medidas para la reducción del impacto ambiental a partir de la implementación de acciones para disminuir la cantidad, la concentración, o la toxicidad de los contaminantes identificados. Una vez definidas las medidas para la reducción del impacto ambiental, se propone la estrategia para el tratamiento de los contaminantes y se preparan los planes necesarios para su implementación.

Con las medidas introducidas para reducir el impacto ambiental se calcula el nuevo valor del impacto ambiental. Este cálculo continúa hasta que el valor del impacto ambiental obtenido conduce a la identificación de alguna de las opciones posibles:

- a) *Continuidad del estado actual del sitio.* Corresponde a la aceptación del valor del impacto ambiental obtenido. Se refiere a la situación en la que no se implementa ningún tipo de medida para modificar el escenario actual. Con base en la situación documentada en el informe de investigación detallada, que concluye que no es necesario implementar acciones correctivas para la recuperación del sitio.
- b) *Recuperación del sitio.* Corresponde un impacto ambiental no aceptable. Esta situación conduce a la implementación de acciones para que la incidencia de la fuente de contaminación resulte eliminada, minimizada o controlada.

Con la eliminación de la totalidad de los contaminantes, se elimina el impacto ambiental asociado a la actividad que se desarrolla en el sitio.

4.B.3.4. Alternativas de remediación (Químicas. Físicas. Biológicas)

La selección de alternativas para la remediación del sitio contaminado se inicia con la definición de los objetivos a alcanzar, algunos de los cuales se indican a continuación:

- 1) Limitar los valores de concentración de los contaminantes identificados.
- 2) Facilitar el uso agrícola del sitio.
- 3) Permitir la construcción de viviendas.
- 4) Desarrollar áreas para uso recreativo.
- 5) Otros.

Una vez definidos los objetivos de remediación, se analizan los criterios para la selección de la tecnología más apropiada. Esta tarea implica la realización de una exploración y un análisis para la selección de la mejor alternativa:

A. Exploración de alternativas:

- 1) Especificidad de las tecnologías para el logro de los objetivos planteados.
- 2) Usos potenciales del sitio.
- 3) Tecnologías aplicables y aceptables.
- 4) Tecnologías disponibles.
- 5) Costos comparativos.

B. Análisis de las alternativas:

- 1) Antecedentes existentes a escala de campo y experiencia de los ejecutores.
- 2) Beneficios y dificultades comparativas de las alternativas analizadas.
- 3) Especificaciones técnicas.

- 4) Tiempo necesario para la remediación del sitio.
- 5) Eficacia de la remediación.
- 6) Impactos ambientales residuales.
- 7) Evaluación de impactos ambientales de cada alternativa.
- 8) Relación costo/beneficio.

Las alternativas de recuperación de sitios contaminados por la realización de una actividad se pueden analizar a partir de las siguientes posibilidades:

1. **Eliminar:** Se refiere a eliminación de los contaminantes presentes en el sitio.
 - 1.1. Tratamiento *in situ*: Implica la aplicación de técnicas físicas, químicas o biológicas de eliminación de los contaminantes en el sitio.
 - 1.2. Tratamiento *ex situ*: La forma de eliminar el impacto ambiental consiste en retirar los contaminantes, trasladarlos para su disposición en alguna instalación habilitada y recuperar el sitio.
2. **Atenuar:** Consiste en la implementación de acciones orientadas a la disminución del impacto ambiental causado por los contaminantes presentes.
 - 2.1. Sellado del sitio para impedir la migración de los contaminantes.
 - 2.2. Interrupción del aporte de contaminantes por medio de la reducción de la cantidad y/o de su toxicidad.
3. **Monitorear:** Se elabora un plan para la implementación de instalaciones que permitan controlar la evolución del sitio hasta el control total del problema.

4.B.3.5. Implementación y seguimiento del programa

Después de seleccionar la alternativa a implementar para poner en marcha el programa de recuperación ambiental, se desarrolla la Ingeniería de remediación que contiene la propuesta de acción con los objetivos a alcanzar.

El programa de recuperación actúa sobre los impactos ambientales de los contaminantes.

1. Eliminar o mitigar los impactos ambientales de los contaminantes.
2. Recuperar el área afectada para su uso posterior.

Para la selección del programa de recuperación se consideran las siguientes variables (Llamas, *et al.* 2009):

- 1) Cantidad, tipo y concentración de contaminantes.
- 2) Características del sitio y su ubicación geográfica.
- 3) Grado de actividad física, química y/o biológica de los contaminantes.
- 4) Grado de dispersión espacial.
- 5) Tiempo transcurrido entre monitoreos.
- 6) Condiciones meteorológicas del lugar (especialmente las relacionadas con el régimen de precipitaciones y temperaturas).
- 7) Condiciones hidrogeológicas (especialmente las relacionadas con la presencia de acuíferos).
- 8) Permeabilidad y capacidad para la retención de contaminantes del suelo en el sitio bajo estudio.
- 9) Presencia de cauces de agua superficial.
- 10) Uso final proyectado para los suelos afectados.

4.D. Bibliografía

1. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (SAyDS). (2006). Manual Metodológico para la Gestión Ambiental de Sitios Contaminados. Tomo I. Programa Nacional para la Gestión de Ambiental de Sitios Contaminados (PROSICO). Buenos Aires. Argentina.
2. Cámara Empresaria de Medio Ambiente (CEMA). (2009). Guía metodológica para el diagnóstico de la situación ambiental de sitios. Buenos Aires. Argentina. 86 p.
3. Conesa Fdez.-Vítora, V. (2010). Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental. 4ª edición. MundiPrensa. Madrid. 864 p.
4. Garmendía, A.; Salvador, A.; Crespo, C.; Garmendía, L. (2005). Evaluación de Impacto Ambiental. Pearson Educación S.A. Madrid. ISBN: 84-205-4398-5. 416 p.

5. ISO/IEC 17025:2017. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.
6. Llamas, S., Mercante, I., Arnal, P. y Espinoza, E. (2009). Evaluación y estudio del inmueble rural sito en Ruta Provincial N° 89 s/n. Centro de Estudios de Ingeniería de Residuos Sólidos. Instituto de Medio Ambiente. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina, Inédito.
7. Llamas, S., Mercante I. (2011). Residuos Sólidos: un enfoque multidisciplinario. Cap. 11. Restauración de sitios contaminados con residuos. 362-399. ISBN: 978-1-59754-787-1. Libros en Red. www.librosenred.com
8. Llamas, S., Mercante, I., Martinengo, P. (2013). Reinserción de un antiguo basural para uso agrícola en Argentina. Revista Internacional de Contaminación Ambiental [en línea]. 2013, 29(3), 99-105 [fecha de Consulta 25 de Enero de 2022]. ISSN: 0188-4999. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37029665012>
9. Lobo García de Cortázar, A., Szantó Narea, M. & Llamas, S. (2016). Cierre, sellado y reinserción de antiguos vertederos. Experiencias en Iberoamérica. Rev. Int. Contam. Ambie. 32 (Especial Residuos Sólidos) 123-139, 2016. <https://doi:10.20937/RICA.2016.32.05.09>.
10. OCDE (Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico). 2003.
11. RAE (Real Academia Española). (2018). Diccionario de la lengua española. Ed. Tricentenario.
12. SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2009). La gestión de sitios contaminados en México: obstáculos y oportunidades. Reporte F-RSC2. México.