

# **CONTENIDO DEL PLAN DE RECONVERSIÓN A TECNOLOGÍAS LIMPIAS EN GESTIÓN DE VERTIMIENTOS**

**AUTOR: RANDY GERARDO CHAVARRIA  
MAYO 2021**



**San Marcos**

#### Tema 4. Contenido del Plan de Reconversión a Tecnologías Limpias en Gestión de Vertimientos

- Descripción de la actividad industrial, comercial y de servicio.
- Objetivo general, objetivos específicos y alcances del plan.
- Caracterización de las aguas residuales antes del sistema de tratamiento.
- Carga contaminante de las aguas residuales antes del sistema de tratamiento por unidad de producto.
- Definición precisa de los cambios parciales o totales en los procesos de producción.
- Definición de los indicadores con base en los cuales se realizará el seguimiento al cumplimiento de los objetivos del Plan.
- Estimativo de la reducción o minimización de las cargas contaminantes por unidad de producto, antes de ser tratados por los equipos de control y antes de ser mezclados con aguas residuales domésticas.
- Descripción técnica de los procesos de optimización, recirculación y reuso del agua, así como de las cantidades de los subproductos o materias primas reciclados o reutilizados, por unidad de producción
- Plazo y cronograma de actividades para el cumplimiento de la norma de Vertimientos.
- Presupuesto del costo total de la reconversión.

---

## Contenido del Plan de Reconversión a Tecnologías Limpias en Gestión de Vertimientos

Los Planes de Reconversión a Tecnologías Limpias en Gestión de Vertimientos (PRTLGV) son mecanismos que promueven la reconversión tecnológica de los procesos productivos de los generadores de vertimientos que desarrollan actividades industriales, comerciales o de servicios y deben dar cumplimiento a los siguientes objetivos:

1. Reducir y minimizar la carga contaminante por unidad de producción, antes del sistema de tratamiento o antes de ser mezclada con aguas residuales domésticas.
2. Reutilizar o reciclar subproductos o materias primas, por unidad de producción o incorporar a los procesos de producción materiales reciclados, relacionados con la generación de vertimientos.

Los PRTLGV constan del siguiente formato:

**Descripción de la actividad industrial, comercial y de servicio:** Se llama actividad comercial al proceso de comercialización (compra y venta) de bienes y servicios, el cual involucra al comerciante desde que adquiere su mercancía hasta que esta llega al consumidor final.

Todos los participantes se ven beneficiados durante este proceso: el comerciante recibe dinero, que se convierte en ganancia, y el cliente obtiene un producto que satisface una necesidad o deseo.

La actividad comercial se presenta con diversas metodologías, tales como la compra y venta en un mismo país o en el exterior, la compra y venta en una tienda física o virtual, compras al mayor y por menor, entre otros.

- **Industria de transformación:** Es aquella que modifica las características físicas y/o químicas del material, por medio de adición, cambio o yuxtaposición, hasta lograr obtener un producto determinado. Las industrias de transformación por su forma de producir se pueden dividir en dos grupos:

1.- Las que producen por medio de ensamble o yuxtaposición de partes, hasta lograr obtener un artículo que se considere como producto acabado.

2.- Las que someten el material a un proceso constante de transformación, agregándole quizá más materiales. Estas industrias tienen la característica de que su producción es continua; que se refiere a un período uniforme y de inversión para toda la masa de producción.

Las primeras industrias trabajan en base a órdenes de trabajo u órdenes específicos y las segundas por procesos productivos.

- **Empresas Comerciales:** Son aquellas que sirven de intermediarias en el espacio y el tiempo entre productores y consumidores de satisfactores.
- **Empresas de Servicios:** Son aquellas que venden asesoría, asistencia, transporte, publicidad, implantación de sistemas, servicios públicos, entre otros.

<https://youtu.be/31vyqykT1kY>

**Objetivo general, objetivos específicos y alcances del plan:** Son las aspiraciones o propósitos que se pretenden lograr, exponen de manera clara y precisa los alcances y resultados que se desean obtener en las diferentes etapas o fases, del trabajo, bien sea que se realice una investigación, un proyecto, en la producción, entre otros.

Al establecer los **objetivos y alcances** se deben considerar hacerlo dentro de las siguientes características:

- Deben ser cuantificables o medibles.
- Deben establecerse su alcance en un determinado tiempo, es decir definir en qué tiempo se llevarán a cabo.
- Deben ser realistas, es decir dispuesto para ser alcanzado para no correr el riesgo de caer en la desmotivación y el fracaso.
- Deben proponer ciertos retos. Lo realista no quiere señalar que impida crecer.
- Deben ser claros, precisos a fin de evitar la ambigüedad, deben evitarse expresiones que se presten a confusión o que se presten a diferentes interpretaciones.
- Deben ser estratégicos, deben enlazarse y soportar el objetivo general, explicar cómo en diferentes logros y fases como lograr ese reto, es decir que puedan fungir como un camino a seguir.
- Debe ser guía y establecer limite en cuanto a los recursos disponibles.

- Deben dirigirse a elementos básicos de una problemática.
- Deben seguir un orden o lineamiento metodológico que involucre resultados concretos.
- Se superan en diferentes etapas, y son a corto y mediano plazo.

**Caracterización de las aguas residuales antes del sistema de tratamiento:** Se describen brevemente los constituyentes físicos, químicos y biológicos de las aguas residuales, los contaminantes importantes de cara al tratamiento de las aguas, los métodos de análisis, y las unidades que se emplean para caracterizar la presencia de cada uno de los contaminantes en el agua residual.

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| <p>Propiedades físicas</p>     | <p><u>Color:</u> Aguas residuales domésticas e industriales, degradación natural de materia orgánica</p> <p><u>Olor:</u> Agua residual en descomposición, residuos industriales</p> <p><u>Sólidos:</u> Agua de suministro, aguas residuales domésticas e industriales, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas</p> <p><u>Temperatura:</u> Aguas residuales domésticas e industriales</p>  |
| <p>Constituyentes químicos</p> | <p><b>Orgánicos</b></p> <p><u>Carbohidratos:</u> Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales</p> <p><u>Grasas animales, aceites:</u> Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales y grasa</p> <p>Pesticidas Residuos agrícolas Fenoles Vertidos industriales Proteínas Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales</p> <p><u>Contaminantes prioritarios:</u> Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales</p> <p><u>Agentes tensoactivos:</u> Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales</p> <p><u>Compuestos orgánicos volátiles:</u> Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales</p> <p><u>Otros:</u> Degradación natural de materia orgánica</p> |

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
|                                  | <p><b>Inorgánicos</b></p> <p><u>Alcalinidad:</u> Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea</p> <p><u>Cloruros:</u> Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea</p> <p><u>Metales pesados:</u> Vertidos industriales</p> <p><u>Nitrógeno:</u> Residuos agrícolas y aguas residuales domésticas</p> <p><u>PH:</u> Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales</p> <p><u>Fósforo:</u> Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales; aguas de Escorrentía</p> <p><u>Contaminantes prioritarios:</u> Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales</p> <p><u>Azufre:</u> Agua de suministro; aguas residuales domésticas, comerciales e industriales</p> <p><b>Gases</b></p> <p><u>Sulfuro de hidrógeno:</u> Descomposición de residuos domésticos</p> <p><u>Metano:</u> Descomposición de residuos domésticos</p> <p><u>Oxígeno:</u> Agua de suministro; infiltración de agua superficial</p> |
| <p>Constituyentes biológicos</p> | <p><u>Animales:</u> Cursos de agua y plantas de tratamiento</p> <p><u>Plantas:</u> Cursos de agua y plantas de tratamiento</p> <p><u>Protistas:</u> Eubacterias Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento</p> <p><u>Arqueobacterias:</u> Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento</p>   |

Para la caracterización del agua residual se emplean tanto métodos de análisis cuantitativos, para la determinación precisa de la composición química del agua residual, como análisis cualitativos para el conocimiento de las características físicas y biológicas. Los métodos cuantitativos pueden ser gravimétricos, volumétricos o fisicoquímicos. Estos últimos se utilizan para determinar parámetros no relacionados con las propiedades másicas o volumétricas del agua, e incluyen métodos instrumentales como la turbidimetría, colorimetría, potenciometría, polarografía, espectrometría de adsorción, fluorimetría, espectroscopia y radiación nuclear.

**Carga contaminante de las aguas residuales antes del sistema de tratamiento por unidad de producto:** La evaluación aproximada de la carga contaminante se realizará en los principales sectores socioeconómicos, mediante la utilización adecuada de indicadores de producción y consumo, así como datos resultantes de los programas de caracterización y monitoreo realizados o actualmente en ejecución.

La expresión general para la determinación de la carga contaminante para residuales líquidos es la siguiente:

$$(\text{Concentración}) \times (\text{Caudal}) = \text{Carga}$$

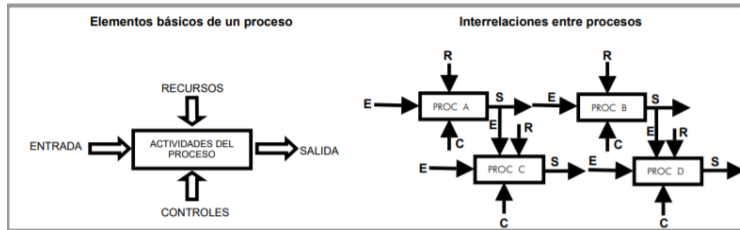
$$\text{Kg/l} \times \text{l/d} = \text{Kg/d}$$

Esta expresión es similar para emisiones gaseosas. Conociendo la concentración del contaminante y el volumen de gas emitido, es posible reportar el valor de carga correspondiente. Ejemplo: mg/m<sup>3</sup>

La cuantificación de las cargas contaminantes por cada fuente se expresará en ton/año y los reportes de cargas consideraran su disminución correspondiente según el tratamiento parcial o total de las descargas y la reutilización y/o aprovechamiento aplicado.

Cuando existe un sistema de tratamiento se multiplicará la carga hallada por la eficiencia que alcanza el sistema, a fin de conocer la carga contaminante que realmente se está disponiendo por parte de la instalación. Considerando que en la medida que las actividades industriales son más complejas, el número de parámetros contaminantes a considerar es mayor, en la práctica se realiza una selección de aquellos de mayor importancia para cada proceso específico.

**Definición precisa de los cambios parciales o totales en los procesos de producción:** Cualquier actividad, o conjunto de actividades ligadas entre sí, que utiliza recursos y controles para transformar elementos de entrada (especificaciones, recursos, información, servicios...) en resultados (otras informaciones, servicios, ...) puede considerarse como un proceso. Los resultados de un proceso han de tener un valor añadido respecto a las entradas y pueden constituir directamente elementos de entrada del siguiente proceso, como muestra el gráfico adjunto:



El proceso contempla una serie de actividades diversas o tareas desarrolladas por un conjunto integrado de personas y equipos, que se encargan de transformar los recursos seleccionados en productos finales, ya sean bienes materiales o servicios. En el diseño de cambios, parciales o totales, de los procesos de producción, seleccionamos y describimos los procesos específicos que se utilizarán en producción, dando una descripción específica y concreta de dichos cambios.

<https://youtu.be/y0nr9iUyKtA>

**Definición de los indicadores con base en los cuales se realizará el seguimiento al cumplimiento de los objetivos del Plan:** Se deben de establecer los indicadores con los cuales se medirán los objetivos y alcances propuestos para la disminución de las cargas en los vertimientos.

| Indicador   | Descripción  | Fórmula  |
|---|--|--|
| Medida volumétrica de las descargas (Método de capacidad) | Consiste en la medición directa del caudal con un recipiente de volumen conocido y controlando el tiempo de llenado.   | $Q = (l/s) = \frac{\text{Volumen del recipiente (l)}}{\text{Tiempo de llenado (s)}}$   |
| Vertedores  | Constituyen uno de los métodos más exactos para medir caudales, siempre y cuando las condiciones bajo las que se determinen los coeficientes de descarga se reproduzcan aproximadamente en los aforos. Los tres tipos más corrientes de vertedores son los rectangulares, triangulares y trapezoidales | <p>H: Altura máxima del líquido (m)<br/>E: Distancia (m)<br/>Algunos de los métodos y aparatos más comúnmente empleados para la medición del caudal sobre la base del cómputo área-velocidad incluyen:</p> |
| Métodos de sección - velocidad                            | La velocidad media puede ser medida determinando la velocidad superficial<br><br>Para la medición de la velocidad superficial se utilizan materiales flotantes como corcho o bolitas de  | $Q (l/s) = \frac{\text{Área (m}^2\text{)} \times \text{Velocidad media (m/s)}}{1000}$  |

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | <p>plástico, midiendo el tiempo en que estas recorren la distancia entre dos puntos en el sistema de recolección de residuales, pudiéndose escoger para ello, registros ubicados en tramos rectos.</p> <p>El área debe ser determinada midiendo el tirante de agua en la tubería y haciendo uso de las relaciones geométricas: tirante de agua/diámetro de la tubería (<math>d/D</math>) y área mojada/área a tubo lleno (<math>a/A</math>) utilizando gráficos o nomogramas elaborados para ello</p> |  |
|--|---|--|

**Estimativo de la reducción o minimización de las cargas contaminantes por unidad de producto, antes de ser tratados por los equipos de control y antes de ser mezclados con aguas residuales domésticas:** Un estudio previo debe estimar los costos totales de manejo de las aguas residuales por parte de una empresa (incluyendo el costo de tratamiento de las mismas) dado por esta función:

$$C = e^{0,884} Q^{0,408} \left( \frac{E}{I} \right)^{-0,33} e^{\alpha_i}$$

donde

- $C$  = costo total de manejo de las aguas servidas por la empresa (\$/día)  
 $Q$  = caudal de agua servida contaminada ( $m^3/día$ )  
 $I$  = carga de DBO en generada por el proceso de producción (*influyente* de la planta de tratamiento, en  $kg/día$ )  
 $E$  = carga de DBO en generada por la empresa después del tratamiento (*efluente* de la planta de tratamiento, en  $kg/día$ )  
 $\alpha_i$  = factor del sector productivo al cual pertenece la empresa, así:
- $\alpha_1$  (alimentos y bebidas) = -1,074
  - $\alpha_2$  (textiles) = 0,481
  - $\alpha_3$  (derivados del petróleo) = 1,428
  - $\alpha_4$  (industria química) = 0,350
  - $\alpha_5$  (industria metálica) = -2,252

Nota: Nótese que si la empresa no tiene plante de tratamiento (donde  $E = I$  y la relación  $E/I = 1$ ), el costo de manejo de las aguas residuales es positivo. Además, como la relación  $E/I$  está entre cero (remoción total) y uno (sin remoción), a medida que se intensifica la efectividad del tratamiento, el costo total se incrementa.

Dada esta función de costos totales de manejo de las aguas servidas, el costo marginal de reducir una unidad de carga contaminante está dado por:

---


$$\frac{\partial C}{\partial E} = \left| -0,33 e^{0,884} Q^{0,408} I^{0,33} e^{\alpha_i} E^{-1,33} \right|$$



La teoría económica muestra que si la empresa tiene que pagar una tasa (T) por cada unidad de contaminación vertida, la opción que minimiza sus costos se alcanza cuando reduce la carga vertida hasta un punto en el cual el costo marginal de reducir la carga contaminante se iguale a la tasa que debe pagar (T).

Lo cual significa que la empresa podrá minimizar sus costos de manejo de las aguas servidas, haciendo un tratamiento que le permita llegar a un vertimiento (E) de carga contaminante dado por:

$$E = 0,33 e^{(0,884/1,33)} Q^{(0,408/1,33)} I^{(0,33/1,33)} e^{(\alpha_i/1,33)} \left(\frac{1}{T}\right)^{(1/1,33)}$$

**Descripción técnica de los procesos de optimización, recirculación y reuso del agua, así como de las cantidades de los subproductos o materias primas reciclados o reutilizados, por unidad de producción:**

En todo proceso productivo se genera un desecho después de obtenido el producto deseado, desecho que debe tratarse de manera tal que su disposición final no afecte al medio ambiente.

<https://youtu.be/Hi2ilunFSWc>

El tratamiento de aguas es un conjunto de procesos que permiten eliminar o disminuir la contaminación del recurso, mediante operaciones de tipo físico, químico o biológico, que tienen como finalidad obtener aguas con características adecuadas para su uso y que se ajusten a la normatividad vigente.

La optimización de procesos es una técnica mediante la cual la empresa es capaz de analizar todos sus procesos empresariales con el fin de conseguir eliminar posibles errores y, lo más importante, hacer que estos sean más eficientes y eficaces gracias a la reducción de tiempos. Cada empresa utiliza sus propias técnicas de optimización de procesos, gracias a las herramientas y a los procedimientos que le permiten ajustarse a sus recursos.

Cada organización realizará las técnicas necesarias para la optimización, recirculación y reuso del agua, lo anterior también dependiendo de su capacidad de respuesta.

- Optimización del proceso con sistemas de tratamiento de efluentes: El aumento del volumen de las aguas residuales, la modificación en la concentración de los efluentes, el cambio de las sustancias contenidas en las aguas residuales y/o las modificaciones de los permisos sobre el uso del agua hacen necesario, muchas veces, adecuar o complementar la tecnología existente.

Los procesos de optimización de aguas residuales pueden clasificarse como físicos, químicos y biológicos, y pueden ser usados en combinaciones que dependen de la calidad física, química y biológica del agua a ser tratada.

| Clasificación del proceso | Proceso y/o Técnica | Campo de utilización                                       |
|---------------------------|---------------------|--|
| Físico                    | Desbaste            | Eliminación de sólidos grandes, palos, plásticos, textiles |

|            |                                 |   |
|------------|---------------------------------|---|
|            | Sedimentación                   | Eliminación de sólidos en suspensión  |
|            | Flotación                       | Eliminación de grasas y aceites.  |
|            | Desgasificación (air stripping) | Eliminación de gases.   |
| Químicos   | Adsorción                       | Eliminación de compuestos orgánicos, color en carbón activo.  |
|            | Floculación-coagulación         | Aplicación de químicos floculantes y coagulantes para eliminar sólidos en suspensión de pequeña dimensión y masa. |
|            | Neutralización                  | Mejoramiento del pH del agua  |
|            | Oxidación                       | Remoción de contaminantes químicos especialmente metales pesados.   |
|            | Intercambio iónico              | Remoción de contaminantes químicos especialmente metales pesados.   |
| Biológicos | Sistemas Aeróbicos              | Acción metabólica para eliminar sólidos en suspensión y materia orgánica soluble por aireación                    |
|            | Sistemas Anaeróbicos            | Acción metabólica para eliminar sólidos en suspensión y materia orgánica soluble, producción de biogás.           |

**Plazo y cronograma de actividades para el cumplimiento de la norma de Vertimientos:** Se debe establecer un cronograma con fechas asignadas de cuándo se va a ejecutar cada etapa del proceso de optimización y el cumplimiento de las normas de vertimiento.

**Presupuesto del costo total de la reconversión:** Se debe establecer un presupuesto con costos asignadas de a cada etapa del proceso de optimización y el cumplimiento de las normas de vertimiento, con el fin de poder cubrir los plazos establecidos en el cronograma.



[www.usanmarcos.ac.cr](http://www.usanmarcos.ac.cr)

San José, Costa Rica