

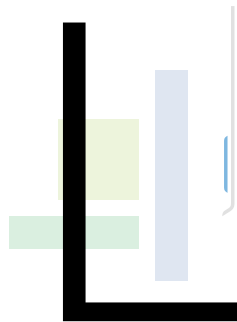


La sostenibilidad en la **gestión de los residuos químicos**, un desafío multiactor



Jacqueline
Mesa Sierra
Ingeniera forestal

*Especialista en Gestión
Medioambiental /
Magíster en Salud
y Seguridad en el
Trabajo / Líder técnica /
Consejo Colombiano de
Seguridad (CCS)*



os residuos químicos no son exclusivos de la industria química. También son generados en diversos sectores como el minero, el manufacturero, el automotriz, el industrial, el agropecuario y el educativo (en laboratorios), entre otros. Incluso se producen en diferentes procesos a pequeña escala, incluyendo el hogar. En este sentido, es clave comprender los diferentes impactos, problemas y peligros que se pueden generar por su inadecuada gestión.

En el presente artículo se describe la importancia de prevenir la generación de dichos residuos como principal herramienta de gestión. A su vez, se abordan los principios de la química verde como la base para el diseño de nuevos productos desde un punto de vista ecológico y cómo en ese proceso deben vincularse términos actuales como la economía circular para, a partir de allí, dirigirse a la gestión de lo que, en últimas, se denominará “residuo químico”.

De la misma manera se analiza el panorama de las sustancias y los residuos químicos categorizados en Colombia como “peligrosos” y autorreportado por las organizaciones como “Respel” en la plataforma del Ideam. Al finalizar se dan recomendaciones puntuales para las organizaciones sobre la gestión de residuos químicos.

Contexto y desafíos

A nivel mundial se reportan diferentes problemas e impactos generados por una inadecuada gestión de residuos químicos. De acuerdo con Lee et al., (1998): “los países de la región del sudeste asiático

se han convertido en un vertedero de desechos peligrosos. Los desechos químicos de cromato en Rainipet, India, fueron expuestos y los niveles de cromo en el agua subterránea en la zona son 1.000 veces más altos que las recomendaciones de la OMS. Así mismo, por ejemplo, la industria de los semiconductores —una de las industrias más grandes del mundo—, emplea en la producción de chips semiconductores más de 200 compuestos orgánicos e inorgánicos de alta pureza y la mayoría de los productos químicos vertidos, incinerados a altas temperaturas, son carcinógenos humanos, que podrían representar un riesgo grave para la salud si no se tratan adecuadamente (Shen et al., 2018).

En este sentido, es necesario que en la gestión de residuos químicos se tengan en cuenta aspectos relacionados principalmente con evitar o reducir el consumo, implementar el reciclaje (cuando sea aplicable y posible), realizar una disposición adecuada e incluir aspectos de economía circular en su ciclo de vida que permita la

reutilización de estas sustancias en otros procesos productivos, lo cual implica que aquello denominado como “residuo” pueda hacer parte de la cadena de suministro de otros productos, sustancias, compuestos o derivados químicos.

Desde los años noventa, Paul Anastas y John Warner plantearon los ‘Doce principios de la química verde’ en su libro *Green Chemistry: Theory and Practice*. Allí proporcionan lineamientos para el desarrollo y la creación de sustancias y productos químicos más amigables con el medio ambiente, de tal manera que se incluya en la industria el término “sostenibilidad”. Varios de esos principios se dirigen a evitar la generación del residuo, promover la circularidad de las partículas, diseñar para minimizar el peligro, reducir el uso y generación de compuestos adicionales, usar sustancias biodegradables, generar mecanismos para monitorear el producto (lo que podría entenderse también como la responsabilidad compartida del productor), entre otras acciones adicionales (ver tabla 1).

Tabla 1. Doce principios de la Química Verde

Principio	Descripción
1. Prevención	Evitar producir residuos es mejor que reciclarlos, tratarlos y disponerlos.
2. Economía de átomos	Los métodos de síntesis deberán diseñarse de manera que se incorporen al máximo los reactivos y materiales en el producto final, minimizando la formación de subproductos.
3. Uso de metodologías que generen productos con toxicidad reducida	Siempre que sea posible, los métodos de síntesis deberán diseñarse para utilizar y generar sustancias que tengan poca o ninguna toxicidad, tanto para el hombre, como para el medio ambiente.
4. Generar productos eficaces, pero no tóxicos	Los productos químicos deberán ser diseñados de manera que mantengan la eficacia a la vez que reduzcan su toxicidad.
5. Reducir el uso de sustancias auxiliares	Evitar el uso de sustancias que no sean imprescindibles (disolventes, agentes de separación, etc.) y en caso de que se utilicen, que sean lo más inocuas posible.
6. Disminuir el consumo energético auxiliar	Los requerimientos energéticos y sus impactos ambientales y económicos deben ser reconocidos y minimizados, reduciéndolos al máximo posible.
7. Uso de materias primas renovables	Preferir el uso de materias primas renovables siempre que sean técnica y económicamente viables.
8. Evitar la derivatización innecesaria	Evitar, cuando sea posible, la formación de derivados (grupos de bloqueo, de protección/desprotección, modificación temporal de procesos físicos/químicos).
9. Potenciación de la catálisis	Los reactivos catalíticos (tan selectivos como sea posible) son superiores a los reactivos estequiométricos.
10. Evitar la derivatización innecesaria	Los productos químicos se diseñarán de tal manera que, al finalizar su función, no persistan en el medio ambiente, sino que se transformen en productos de degradación inocuos.
11. Diseño y desarrollo de tecnologías analíticas para la monitorización en tiempo real	Las metodologías analíticas serán desarrolladas para permitir el monitoreo y control en tiempo real de los procesos, previo a la formación de productos secundarios o sustancias peligrosas.
12. Minimizar el potencial de accidentes químicos	Elegir sustancias empleadas en los procesos químicos de forma que se minimice el riesgo de accidentes químicos, incluidos los vertimientos, explosiones e incendios.

Fuente: Anastas & Eghbali, 2009.

Así mismo, es necesario comprender el nivel de riesgo que las sustancias químicas pueden tener sobre el medio ambiente y la salud humana al final de su ciclo de vida. En este caso es clave no solo conocer la peligrosidad de las sustancias, sino tener claridad sobre las consecuencias a corto y largo plazo que pueden llegar a tener sobre los trabajadores (quienes manipulan los residuos), el transporte (los lugares por los cuales es movilizado) y los efectos adversos que pueden presentarse en las zonas de disposición o tratamiento final (contaminación de aguas subterráneas, aire, suelo, etc.). De acuerdo con Hernández-Betancur & Ruiz-Mercado (2019) este análisis es clave si, además, se consideran los indicadores de sostenibilidad asociados al riesgo químico en los escenarios del final de la vida útil del producto.

En este sentido, la gestión adecuada de los residuos químicos no solo se debe relacionar con la reducción de los impactos a nivel ambiental y social, sino que también debe tenerse en cuenta como un aspecto estratégico en la continuidad de las operaciones de aquellas industrias que dependen de alguna manera de sus-

tancias de cualquier tipo. El agotamiento cada vez más veloz de los recursos y las materias primas y las actuales dificultades que presentan las cadenas de suministro son razones de peso para implementar mejoras en la gestión de los residuos, como una estrategia también relacionada con la gestión operativa y comercial. Los residuos representan costos asociados a la operación que se realiza y como tal afectan a todas las áreas de la organización (Ministerio de Ambiente, 2014).

A nivel de la gestión de los residuos químicos es clave tener en cuenta aspectos a nivel de priorización donde, de acuerdo con la figura 1, la “prevención y reducción” así como la “valorización y recuperación” deben prevalecer; en cambio, las actividades de “disposición final” son estimadas como de menor preferencia a nivel de gestión. También es preciso considerar las etapas clave sobre las cuales se ha de tener control de todas las actividades relacionadas, teniendo en cuenta el cumplimiento de la legislación aplicable acorde con el tipo de producto, las medidas de manejo ambiental y el tratamiento y disposición adecuado.

Figura 1. Priorización y actividades clave en la gestión residuos



Fuente: elaboración propia basada en PNUMA (2013) citado por Inga Estrada & Vega Alarcón (2021).

Panorama de la gestión de residuos químicos en Colombia

De acuerdo con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, para el 2015, en Colombia “se utilizaban cerca de 500 tipos de sustancias químicas industriales importadas o producidas internamente y un número desconocido de estas, no contaba con procesos de manejo del riesgo en las diferentes etapas del ciclo de vida” (Departamento Nacional de Planeación (DNP), 2016).

Así mismo, el documento ‘Perfil Nacional de Sustancias Químicas en Colombia, Vol II’ de Suárez Medina & Narváez Rincón, 2017, señala que, para el año 2012¹ en el país se consumieron aproxi-

madamente 75 millones de toneladas de sustancias químicas, se produjeron alrededor de 5 millones y se importaron cerca de 6 millones mientras que las exportaciones rondaron las 80 millones de toneladas.

A nivel de consumo, la mayor cantidad de sustancias se relacionó con el uso denominado Sustancia Natural No peligrosa (SNNP) con un aproximado de 35 millones de toneladas. En términos de producción e importación el uso con mayor cantidad fue el de Sustancia Química de Uso Industrial (SQI) con un aproximado de 4 y 3.5 millones de toneladas, respectivamente. Por su parte, a nivel de exportación la mayor cantidad se dirigió a combustibles (sólidos, líquidos y gases) - (COM) con 78 millones de toneladas en ese año (ver tabla 2).

¹ Última fecha del reporte consolidado sobre las sustancias químicas en el país.

Tabla 2. Sustancias químicas por tipo de uso en el año 2012

Tipos de uso	Consumidas	Producidas	Importadas	Exportadas
Alimento y aditivo para alimento (ALM)	306,0	1,6	78,4	29,3
Combustibles (sólidos, líquidos y gases)-(COM)	13.090,2	489,0	11,2	78.098,0
Cosméticos (COS)	27,6	0,0	0,20	0,003
Fertilizantes y abonos (FERT)	83,4	1,0	1.710,6	118,6
Medicamento y uso médico (MED)	50,7	0,6	44,4	0,90
Mineral en bruto (MIN)	7.340,1	20,9	686,3	135,5
Producto sintético no peligroso (PSNP)	726,1	123,2	33,2	530,3
Pesticida y fungicida et al (PST)	30,1	17,0	89,6	50,0
Sustancia Natural no Peligrosa (SNNP)	35.534,2	818,5	0,001	—
Sustancia Química de uso Industrial (SQI)	18.332,6	4.008,1	3.518,1	1.180,3
Mineral o material radiactivo (MRAD)	—	—	0,03	0,042
TOTAL (Miles Tn)	75.521,0	5.479,9	6.172,0	80.142,9

Fuente: elaboración propia basada en Suárez Medina & Narváez Rincón (2017).

De acuerdo con la información autorreportada por las empresas al Ideam sobre los residuos peligrosos (Respel), para el 2012 se generó un total de 250.148 toneladas de residuos químicos peligrosos. Por su parte, en 2019 se generaron

640.034 toneladas, de las cuales el 83 % correspondió a residuos químicos peligrosos. Lo anterior evidencia una tendencia creciente en la generación de este tipo de residuos en los últimos años (ver figura 2)

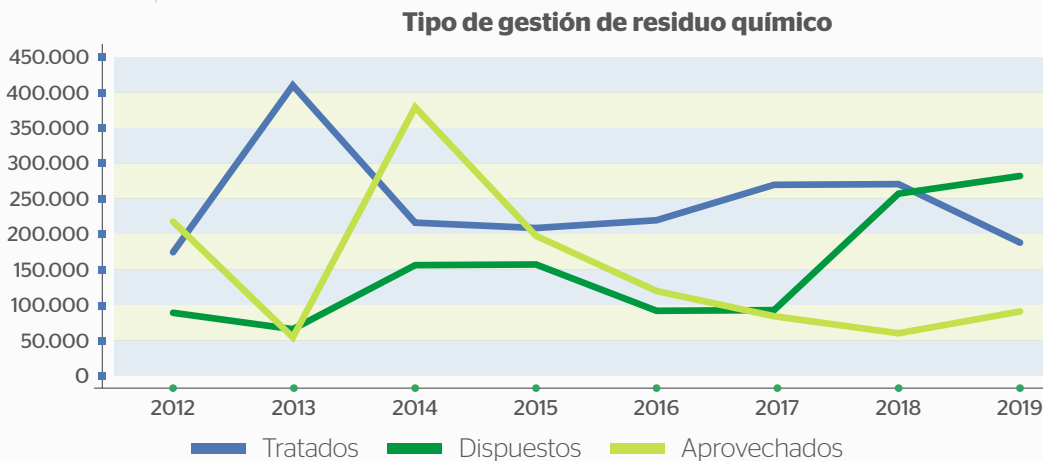
Figura 2. Generación de residuos químicos peligrosos reportados en Colombia 2012-2019

Fuente: elaboración propia basada en datos Respel (Ideam, 2020)

Sin embargo, a nivel del porcentaje de aprovechamiento se evidencia una disminución en el uso de dichos residuos (interna y externamente)² alcanzando el 10 % para el 2018 y el 16 % para 2019, cifras inferiores a las reportadas en los años 2015 y 2016 donde el porcentaje de aprovechamiento fue del 54 % y 48%, respectivamente.

En este sentido, para el año 2019 tan solo se aprovechó un total de 87.367 toneladas de residuos químicos peligrosos. Así mismo, aunque la generación de residuos químicos ha aumentado, el porcentaje de tratamiento de los residuos químicos se mantuvo constante hasta el 2018 y en 2019 disminuyó. Contrario a lo esperado, la cantidad de residuos dispuestos ha aumentado (ver figura 3).

Figura 3. Tipo de gestión de los residuos químicos peligrosos reportados en Colombia 2012-2019

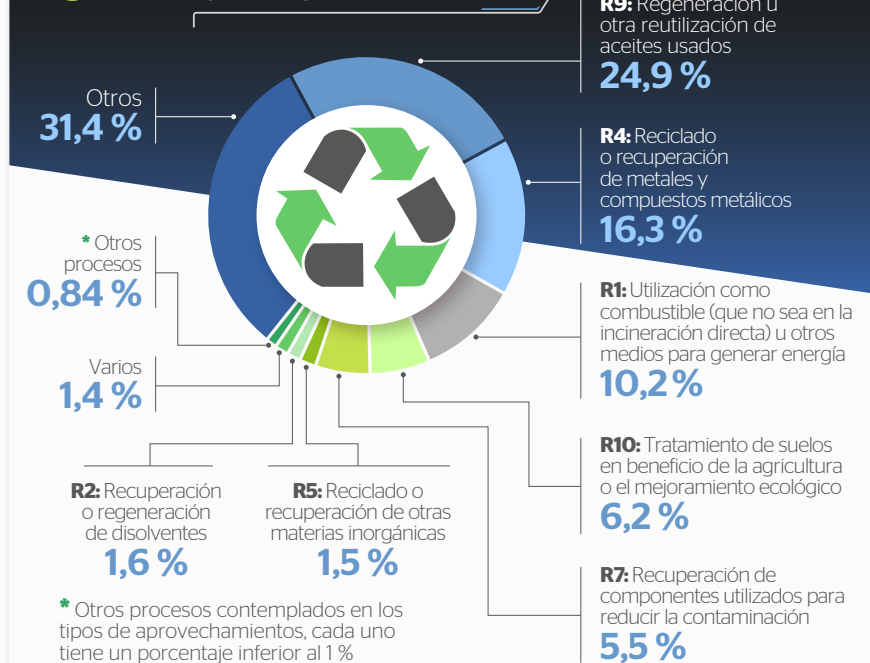


Fuente: elaboración propia basada en datos Respel (Ideam, 2020)

Los tipos de aprovechamiento que tuvieron los residuos se describen en la figura 4. De allí se puede destacar que el reciclaje se da principalmente en aceites usados (25 %) y en metales y compuestos metálicos (16 %). Sin embargo, los otros tipos de aprovechamiento se dan como material combustible y en generación de energía, cuyos procesos generan impactos relacionados con emisiones. También se reportaron aprovechamientos en recuperación o regeneración de disolventes, reciclado o recuperación de otras materias inorgánicas, reciclado o recuperación de sustancias orgánicas que no se utilizan como disolventes, regeneración de ácidos o bases y recuperación de componentes provenientes de catalizadores.

Para el año 2019, del total de los residuos tratados, el 40 % se procesó por métodos físico-químicos, el 27 % por biológicos, el 12 % por térmicos y el 10 % a través de tecnologías avanzadas. Mediante otros mecanismos se gestionó el 11 %. Así mismo, el 95 % de los residuos fueron tratados externamente y el 5 % al interior de las organizaciones (ver figura 5).

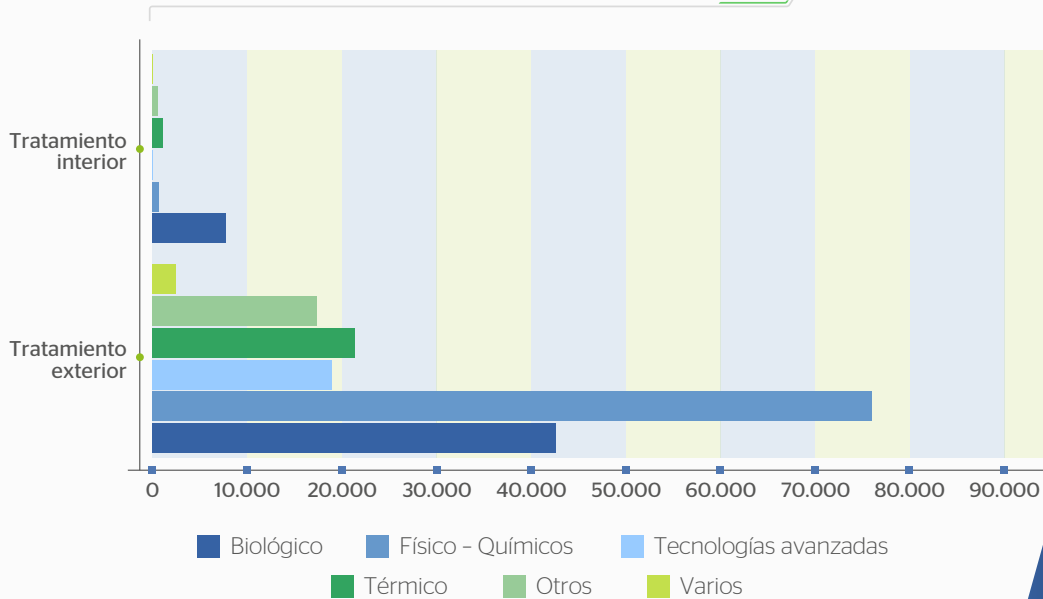
Figura 4. Tipo de aprovechamiento



Fuente: elaboración propia basada en datos Respel (Ideam, 2020)

² Aprovechamiento interno y externo: "es el cálculo de la cantidad de residuos peligrosos aprovechados. Se realiza para el período determinado y se construye con la información auto declarada por los generadores. Corresponde a la sumatoria de los residuos aprovechados en los diferentes estados de la materia (sólido o semisólido, líquido y gaseoso) directamente por quienes los generan o por terceros a petición de los generadores" (Ideam, 2020).

Figura 5. Tipo de tratamiento de residuos químicos peligrosos reportados en Colombia en 2019



Fuente: elaboración propia basada en datos Respel (Ideam, 2020)

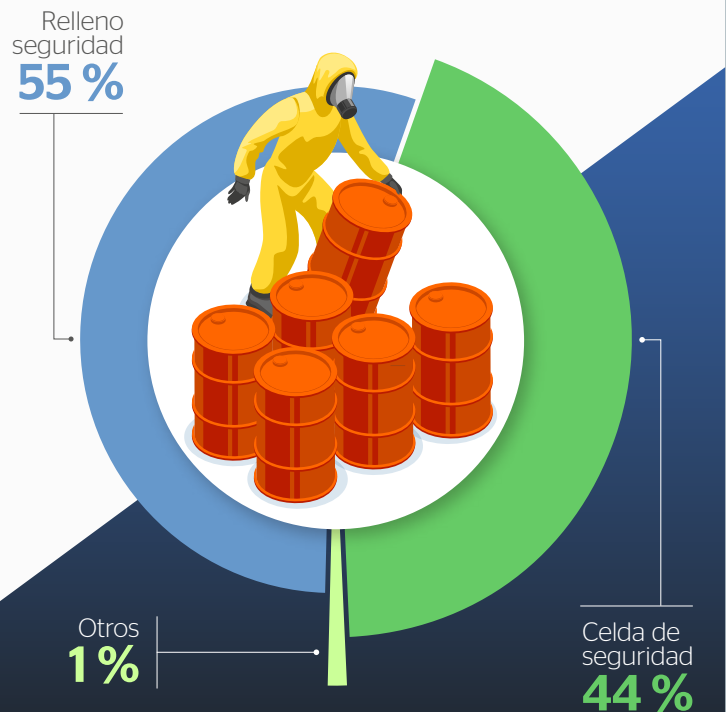


En relación con el tipo de disposición, el 55 % de los residuos autorreportados como “dispuestos” fueron ubicados en rellenos de seguridad, seguidos por el uso de celdas de seguridad con el 44 % mientras que el 1 % tuvo otro tipo de disposición. Así mismo, el 99 % de los residuos fueron dispuestos de manera exterior y el 1 % dentro de la organización (ver figura 6).

Teniendo en cuenta que el último documento encontrado sobre el perfil de sustancias químicas tiene como fecha de corte el año 2012, es complejo realizar un análisis con relación a los residuos que estas sustancias pueden llegar a generar. Sin embargo, tan solo tomando como referencia ese reporte, en ese año se generaron un total de 250.148 toneladas de residuos químicos peligrosos autorreportados de un total de 75 millones de toneladas de sustancias químicas consumidas. Con estas cifras surgen los siguientes interrogantes: del total de sustancias químicas consumidas en nuestro país, ¿cuánto puede convertirse efectivamente en residuos químicos?, ¿cuántos residuos de sustancias químicas están siendo dispuestos directamente en nuestros ecosistemas en la actualidad?

Debido a estas inquietudes, es necesario que las organizaciones de cualquier sector que usen sustancias químicas se comprometan en su adecuada “gestión química”, antes de llegar al proceso de tratamiento de residuos químicos. Esto implica dejar de ver el proceso como un problema dentro de la operación y, en cambio, incluirlo dentro de los indicadores de sostenibilidad, analizando todo el ciclo de vida del producto, sin importar si se es productor o consumidor de la sustancia química.

Figura 6. Tipo de disposición de residuos químicos peligrosos reportados en Colombia en 2019



Fuente: elaboración propia basada en datos Respel (Ideam, 2020)

Recomendaciones para la gestión de residuos químicos

A continuación, se listan algunas recomendaciones para tener en cuenta en la gestión de los residuos químicos que son transversales a cualquier sector económico y requieren de un alto compromiso y liderazgo.

- 1. Revisar los procesos internos de tal manera que se evite generar el residuo.** Cuando se pierden grandes porciones de las materias primas iniciales utilizadas en un proceso debido al diseño original, se generan inexorablemente desechos que, por definición, son indeseables (Anastas & Eghbali, 2009). En este sentido es clave realizar un análisis detallado del proceso productivo, buscando una mejora continua en las diferentes actividades y subactividades, incluyendo la etapa de diseño del producto. El objetivo es que al final del proceso productivo se reduzca o elimine la posibilidad de generar residuos.
- 2. Caracterizar y cuantificar el tipo de residuo y las cantidades generadas.** En este caso, la organización debe tener claramente identificado el tipo de residuos o desechos químicos que está generando en sus procesos, así como las cantidades producidas. La caracterización se debe dar también en términos de si el residuo químico es peligroso o no peligroso, teniendo en cuenta el nivel de inflamabilidad, corrosividad, reactividad y toxicidad.
- 3. Reducción, reciclaje y tratamiento en el punto de generación del residuo químico (en la fuente).** Si es posible dentro del proceso, realizar tratamiento al residuo químico para reducir su nivel de peligrosidad o repensar el proceso para el reciclaje de la sustancia.
- 4. Definir la recolección, transporte y almacenamiento temporal de residuos químicos** (peligrosos y no peligrosos) al interior de la organización. Precisar los procedimientos y protocolos a llevar a



- cabo en cada dependencia y por cada tipo de residuo generado. El almacenamiento debe realizarse en recipientes adecuados para cada sustancia y se deben tener en cuenta las matrices de compatibilidad, entre otros aspectos. También se deben considerar aspectos de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) mediante los cuales se garantice que los trabajadores que realicen las actividades de recolección, transporte y almacenamiento temporal fueron capacitados y conocen los peligros y riesgos relacionados con la manipulación de las sustancias caracterizadas.
- 5. Rotular y etiquetar adecuadamente todos los residuos químicos de acuerdo con la normatividad vigente.** Aunque se defina como "residuo", sigue siendo un producto químico, razón por la cual se deben cumplir los requisitos legales relacionados con el etiquetado y la rotulación de las sustancias.

- 6. Definir la recolección y transporte del residuo químico a nivel externo.** Es de alta importancia que el proceso de recolección y transporte externo se lleve a cabo cumpliendo la normatividad vigente. En el caso de contratación de un tercero para prestar el servicio, es necesario que se revise de manera detallada el cumplimiento de los requisitos legales aplicables y el proceso se controle de manera permanente. La contratación externa no exime al productor de la responsabilidad en relación con el residuo y su destinación.
- 7. Definir el tipo de aprovechamiento, tratamiento y destinación final que se dará al residuo generado.** Es clave identificar estos aspectos toda vez que de ello dependerá el nivel de impacto que el residuo generará. Después de generar el residuo, priorizar actividades de aprovechamiento y tratamiento resulta indispensable como

paso previo a tomar la opción de disposición final. En cualquiera de los casos definidos, es necesario contar con la documentación y el seguimiento que soporte el cumplimiento legal del tercero que realizará el proceso.

8. Medir y controlar el proceso.

Parte de la gestión implica un alto compromiso en el control y registro de todos los procesos realiza-

dos. Por lo tanto, llevar un control detallado ayudará a tener información pertinente en el momento de tomar decisiones.

9. Tener en cuenta la responsabilidad extendida de productor.

Tanto si se es generador de la sustancia o consumidor, se debe tener claridad de la responsabilidad extendida que tienen las organizaciones. Esto quiere decir que el

productor debe ser partícipe de la gestión de los residuos que se generan y gestionar, a nivel de la cadena de suministro, alianzas que apoyen la gestión adecuada de los residuos.

10. Mejora continua del proceso de gestión de residuos químicos.

La mejora continua del proceso es clave toda vez que el análisis de las circunstancias y la búsqueda de soluciones novedosas por parte de las organizaciones puede llevar a la reestructuración de procesos, la búsqueda de opciones tecnológicas y la optimización de los recursos. Incluir en la gestión de residuos químicos actividades de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i) es esencial para la generación de soluciones que reduzcan el impacto de los residuos.

11. Capacitación y entrenamiento a todo el personal involucrado (tanto operativo como quien toma las decisiones).

En este aspecto es fundamental que dentro de la organización todos los colaboradores conozcan la importancia de la gestión de residuos químicos, los peligros y riesgos asociados y tengan claros los procedimientos y protocolos definidos.



Referencias

Anastas, P., & Eghbali, N. (2009). Green Chemistry: Principles and Practice. Chemical Society Reviews, 39(1), 301-312. <https://doi.org/10.1039/B918763B>

Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2016). Conpes Consejo Nacional de Política Económica y Social. República de Colombia, Departamento Nacional de Planeación.

Ideam. (2020). Respel <http://www.ideam.gov.co/web/sia-cifras/respel>

Inga Estrada, S. E., & Vega Alarcón, P. C. (2021). Revisión bibliográfica: Gestión de los Residuos Peligrosos en Sudamérica. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/75457/Inga_ESHE_Vega_APC-SD.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Lee, C. H., Chang, C. T., & Tsai, S. L. (1998). Development and implementation of producer responsibility recycling system. Resources, Conservation and Recycling, 24(2), 121-135. [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(98\)00030-5](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(98)00030-5)

Ministerio de Ambiente, V. y D. T. (2014). Guías para Manejo Seguro y Gestión Ambiental de 25 Sustancias Químicas.

Shen, C. W., Tran, P. P., & Ly, P. T. M. (2018). Chemical Waste Management in the U.S. Semiconductor Industry. Sustainability 2018, Vol. 10, Page 1545, 10(5), 1545. <https://doi.org/10.3390/SU10051545>

Suárez Medina, O. J., & Narváez Rincón, P. C. (2017). Perfil Nacional de Sustancias Químicas en Colombia. Vol II, Actualización de los capítulos 2 y 3, con énfasis en sustancias de uso industrial. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Perfil_Nacional_de_Sustancias_Quimicas_en_Colombia_Vol_II_-2017.pdf