

Nuevos parámetros ambientales para determinar la cantidad de sustancia química contaminante en efluentes y emisiones en la legislación peruana

New environmental parameters to determine the amount of polluting chemical substance in effluents and emissions in Peruvian legislation

Jorge Luis Zegarra Pumacayo¹

Recibido: 07/04/2022 - Aprobado: 19/08/2022 – Publicado: 31/12/2022

RESUMEN

En la actualidad, la legislación en materia ambiental de nuestro país regula la "concentración de sustancia química contaminante", esta es presentada como un parámetro expresado en los Límites Máximos Permisibles (LMP). En el Perú se considera que cuando se excede el valor de la "concentración de sustancia química contaminante", se causa daño a la salud de las personas y, a su vez, se produce un impacto ambiental negativo a los diversos ecosistemas y biodiversidad. La presente investigación propone estudiar, más allá de la "concentración de sustancia química contaminante", a la "cantidad de sustancia química contaminante" entendiéndola como objeto de evaluación y como medio a conocer para adecuar un mejor control de la contaminación ambiental que provoca daños ambientales. Se concluye que incorporando los nuevos parámetros ambientales de: "flujo de materiales o caudal (L / h)" y de "tiempo de operación del proceso (h)", trabajando en conjunto con el parámetro ya utilizado en las normas ambientales, es decir, con el valor de "concentración de sustancia química contaminante", se puede cuantificar la "cantidad de masa de sustancia química contaminante". Asimismo, es necesario considerar que estos parámetros propuestos son, en la práctica, totalmente factibles de ser medidos.

Palabras claves: Contaminación ambiental, concentración de sustancia contaminante, cantidad de sustancia contaminante, daño ambiental, límite máximo permisible.

ABSTRACT

At present, the environmental legislation of our country regulates the "concentration of contaminating chemical substance", this is presented as a parameter expressed in the Maximum Permissible Limits (LMP). In Peru, it is considered that when the value of the "concentration of contaminating chemical substance" is exceeded, damage is caused to people's health and, in turn, a negative environmental impact is produced on the various ecosystems and biodiversity. The present investigation proposes to study, beyond the "concentration of contaminating chemical substance", to the "amount of contaminating chemical substance" understanding it as an object of evaluation and as a means to know to adapt a better control of environmental contamination that causes environmental damage. It is concluded that incorporating the new environmental parameters of: "flow of materials or flow rate (L / h)" and "process operation time (h)", working together with the parameter already used in environmental standards, that is, with the value of "concentration of chemical contaminant", the "mass quantity of chemical contaminant" can be quantified. Likewise, it is necessary to consider that these proposed parameters are, in practice, totally feasible to be measured.

Keywords: Environmental pollution, concentration of polluting substance, quantity of polluting substance, environmental damage, maximum permissible limit.

¹ Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. Lima, Perú
Docente. E-mail: jzegarrap2@unmsm.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0070-3569>

I. INTRODUCCIÓN

En este siglo XXI, estamos presenciando una época muy interesante. Tenemos una cantidad considerable de información desde diversas áreas del conocimiento humano (química, física, biología, ingeniería, derecho, economía, entre otros). Esta información novedosa se viene incrementando en el tiempo debido a las continuas investigaciones. Es decir, en este momento histórico se desarrolla la tarea de búsqueda y de continuo cuestionamiento de la información, como parte del método científico. Uno de los resultados de este proceso nos lleva a reconsiderar la forma de legislar en materia ambiental con respecto a nuestra forma controlar los procesos o actividades humanas.

Como es sabido, las actividades y procesos humanos realizan continuamente distintas descargas al ambiente, ya sea como efluentes (descargas o desechos líquidos) o en forma de emisiones (descargas o desechos gaseosos) de sustancias químicas consideradas contaminantes. Estas descargas al ambiente se realizan en mayor proporción desde la etapa de industrialización, es decir, desde la época conocida como la Revolución Industrial en el siglo XVIII (Calderón et al., 2003). A partir del siglo XX, con el incremento del conocimiento científico respecto a los efectos que producen estas sustancias químicas contaminantes se ha generado mucha preocupación en la comunidad científica debido a los efectos de la contaminación ambiental. Un ejemplo de lo mencionado es que desde los años treinta del siglo pasado, se usaron compuestos en base a cloro, fluor y carbono (CFC) en los sistemas de refrigeración, siendo inocuos en la salud de las personas, pero resultó siendo dañino a las moléculas de ozono atmosférico, cuando reaccionaba con la radiación UV, esto según los estudios realizados por Rowland y Molina en la década de los setenta del mismo siglo (Zaratti, 2009), es decir, pasaron varias décadas hasta descubrir los daños que producían las sustancias químicas. A nivel internacional, los países han desarrollado el derecho en materia ambiental para prevenir y regular los impactos por contaminación producida por las actividades humanas (extractivas como la pesca, minería, tala, petróleo, gas natural, carbón, de transformación como los procesos metalúrgicos, alimentos, textil, pinturas, farmacéutica, metal-mecánica, construcción, de servicios como turismo, transporte, entre otros). Esto lo podemos constatar, por ejemplo, en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano, desarrollado el 16 de junio de 1972, que pone énfasis en conceptos como el derecho fundamental a vivir en un medio ambiente adecuado, para el desarrollo de una vida considerando la dignidad de la persona humana (ONU, 1973). Considerando el caso de los compuestos que dañan la Capa de Ozono, en el año de 1987 se firmó el Protocolo de Montreal, un acuerdo internacional en materia ambiental (posterior a lo demostrado por los científicos en todo el mundo, es decir, ocurrían daños en el ozono de la estratosfera por los compuestos CFC), que establece tomar medidas para disminuir el uso de los compuestos hidrofluorocarbonados, los países firmantes aceptaron dicho acuerdo, entre ellos el Perú. Nuestro país en el año 2019 dispuso el cumplimiento de la tercera medida de control referida a la reducción de 35% del consumo de compuestos hidrofluorocarbonados (HCFC) para el año 2020 (PRODUCE, 2019).

Las normas jurídicas en materia ambiental son desarrolladas por el legislador cuando tiene conocimiento expreso de los efectos producidos por las sustancias químicas contaminantes, es decir, cuando se sabe del daño ambiental que pueden generar estas sustancias al ser descargadas al ambiente (emisiones, efluentes) como producto de las diversas actividades humanas.

Debido a los problemas ambientales ocasionados por la emisión de sustancias químicas contaminantes, debemos tomar en cuenta la necesidad de realizar estudios que permitan fundamentar normas ambientales para mitigar dichos daños. Villalobos González & Hernández Chaverri (2018), mencionan con respecto a la contaminación de aguas lo siguiente con respecto al Ecuador:

La determinación de mercurio y plomo en los sedimentos superficiales del estero Huaylá de la parroquia de Puerto Bolívar (Ecuador) y el subsecuente análisis efectuado mediante el uso de indicadores de riesgo ambiental y toxicológico dejan en evidencia que este estero se encuentra poco afectado por plomo pero fuertemente contaminado por mercurio por lo que es necesario establecer medidas urgentes para remediar la situación y recuperar el ecosistema sobre todo teniendo en cuenta el alto riesgo que representan los niveles de mercurio para la población humana en el sector. Además, este trabajo revela la urgente necesidad de establecer para el Ecuador normas para el control de metales pesados en sedimentos marinos y dulceacuícolas. (p.81).

Como se observa en el texto citado, es importante estudiar los efectos que la contaminación ambiental produce en los diversos ecosistemas presentes en la naturaleza.

Se puede evaluar el impacto de diversas sustancias químicas contaminantes como es el caso de las sustancias inorgánicas por los metales (plomo, mercurio, cadmio, arsénico, etc.), gases (dióxido de carbono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, etc.), o incluso los compuestos orgánicos (derivados del petróleo, polímeros como los plásticos, benceno, dicloro difenil tricloroetano (DDT), dieldrina, heptacloro, bifenilos policlorados, entre otros). El daño ambiental también puede ocurrir por la presencia de diversos microorganismos patógenos (bacterias como el *Staphylococcus aureus*, o la *Escherichia coli*, entre otros) presentes en aguas de ríos, lagos, lagunas, etc. Esta problemática contaminación del agua, por ejemplo, perjudica la salud de muchas personas en el mundo (produciendo enfermedades, e incluso muertes por las infecciones que causa), debido al consumo de líquidos con presencia de estos microorganismos y por la falta de procesos de potabilización en muchos lugares (Pumacayo Zegarra et al., 2021).

Con respecto a la normativa nacional peruana, la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en su artículo 3°, dispone que el Estado peruano, a través de sus entidades públicas y sus órganos correspondientes, diseña y aplica las políticas, normas, instrumentos, incentivos y sanciones que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos de las personas y el cumplimiento de sus

obligaciones (MINAM, 2005). Por ello considera los valores de la “concentración de sustancias químicas contaminantes” como un parámetro ambiental que se debe considerar para regular los niveles de contaminación, mediante las diversas normas de los Límites Máximos Permisibles (LMP), que establecen los valores de “concentración de sustancia química contaminante” presente en las emisiones y efluentes descargados a los ecosistemas por las diversas actividades humanas.

Con respecto a la normativa internacional existe una similitud en la forma como se evalúa el grado de contaminación, es decir, con los valores de “concentración de sustancia química contaminante”, por ejemplo, para los valores máximos de emisión de agua residuales en un cuerpo de agua receptor, el parámetro “grasa y aceites” en Costa Rica. Decreto N° 33601-MINAE-S (FAOLEX, 2007) el valor de concentración máximo es de 30mg/L, en Nicaragua (Decreto N°. 3-95, 1995) su valor máximo es 20 mg/L, en Panamá Norma Técnica DGNT – COPANIT – 35 (Ministerio de Comercio e Industrias de Panamá, 2000), su valor es 20 mg/L, en Ecuador (Decreto N° 003, 2005), su valor es 30 mg/L, en México Norma Oficial Mexicana NOM – 001 – ECOL – 1996, 1995 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 1997) su valor es 25 mg/L (Villalobos González & Hernández Chaverri, 2018). Podemos constatar que los valores de “concentración de sustancia química contaminante” son evaluados también en otros países, similar al nuestro, siendo las unidades de evaluación: miligramo por litro (mg/L).

El objetivo de la presente investigación es realizar un estudio que permita hacer una propuesta de parámetros ambientales que complementen al parámetro “concentración de sustancia química contaminante”, esto para poder cuantificar la “cantidad de sustancia química contaminante” que se descarga al ambiente por las diversas actividades humanas durante en el desarrollo de su actividad económica.

Los resultados del estudio realizado indican que la regulación de la contaminación producida por las sustancias químicas en función del parámetro ambiental “concentración de sustancia contaminante” es limitada para establecer el grado de contaminación. Se establece, por tanto, la necesidad de buscar la “cantidad de masa de sustancia química contaminante” que genera un potencial daño a las personas, y produciendo un efecto negativo en los ecosistemas.

II. MÉTODOS

La investigación se realizó aplicando el método descriptivo. Se han adicionado nuevos parámetros ambientales que determinan la “cantidad de la sustancia química contaminante”. Como parte dicha evaluación se realiza un estudio de balance de materia establecido por los principios de los cálculos de la ingeniería química, a fin de determinar los nuevos parámetros que complementan los valores del parámetro “concentración de sustancia química contaminante”.

Se determinaron dos parámetros ambientales adicionales al parámetro “concentración” presente en las normas ambientales.

III. RESULTADOS

La presente investigación muestra que para establecer la “cantidad de masa de sustancia química contaminante”, es necesario incorporar nuevos parámetros ambientales que permitan realizar una adecuada evaluación del grado de contaminación que afecta a los diversos ecosistemas. Estos parámetros que complementan la evaluación realizada por los valores de “concentración” presente en los Límites Máximos Permisibles (LMP), son: el “flujo de materiales o el caudal de descarga (L / h)” y el “tiempo de operación (h)” en las emisiones y efluentes de las sustancias químicas contaminantes de los procesos desarrollados por las actividades humanas.

IV. DISCUSIÓN

La propuesta consiste en realizar un análisis para obtener la “cantidad de masa de sustancia química contaminante” expresado en unidades de masa (miligramos, gramos, kilogramos, etc.), que son descargados al ambiente. De esta forma se podría establecer el nivel de contaminación que impacta en los diversos ecosistemas, como consecuencia de la realización de la actividad humana. Entonces la “cantidad de masa de sustancia química contaminante” en las descargas, ya sean estos efluentes y o emisiones, son las que determinan “el grado del impacto por el agente contaminante”, es decir, las que generan daños en los diferentes ecosistemas.

4.1. Concentración de sustancia química contaminante

En la actualidad se establecen las condiciones por las cuales se pueden generar posibles daños ambientales, los cuales son reportados de acuerdo con valores de “concentración de sustancia química contaminante” tanto en los efluentes como en las emisiones de los procesos desarrollados por las diversas actividades humanas. Entonces debemos realizar un análisis de su concepto y la relación con el impacto que puedan realizar en los ecosistemas.

Considerando el concepto de “concentración”, debemos tener en cuenta la relación establecida entre el soluto (sustancia química considerada como potencial contaminante) con respecto a su sistema de análisis (volumen). Sobre este punto (Chang, 2007), menciona que “La concentración de una disolución es la cantidad de soluto presente en una cantidad de disolvente o de disolución [...]”. La concentración de una disolución se puede expresar en muchas formas distintas [...]” (p. 142).

Las diversas normativas legislativas en materia ambiental, en el Perú, establecen parámetros ambientales, como la “concentración de sustancia química contaminante” para establecer las condiciones en las cuales podría ocurrir un daño a la salud de la población y al ambiente. El Decreto Supremo N° 003 (PRODUCE, 2002), detalla los Límites Máximos Permisibles y valores referenciales para las

actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel, esta norma ambiental peruana define lo siguiente:

“Límite Máximo Permisible (LMP): Es la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o a una emisión, que al ser excedido causa o puede causar daños a la salud, bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente. Dependiendo del parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresado en máximos, mínimos o rangos” (PRODUCE, 2002, p. 2).

En la Tabla 1, la concentración (mg / L) es un parámetro ambiental considerado por las normas ambientales peruanas. Este valor debe ser medido para determinar el grado de contaminación que podría realizar alguna actividad humana durante el desarrollo de su proceso. Tal es el caso de los parámetros ambientales establecidos para la actividad “curtiembre” (procesamiento de las pieles de los animales en cuero), se menciona que la concentración

de cromo VI (cromo hexavalente) es 0,4 mg / L. Ante este panorama establecemos el estudio de ese parámetro (concentración), a fin de evaluar si se puede complementar con otros parámetros ambientales.

Para realizar el análisis de la concentración se presenta la Figura 1, en ella se observan las diferentes cantidades de masa de sustancia química contaminante (2 miligramos de cromo, 4 miligramos de cromo, 6 miligramos de cromo), estos valores se incrementan conforme aumenta el volumen (5 litros, 10 litros, 15 litros), se calcula la concentración en cada sistema, es decir, la relación de la cantidad de masa de sustancia química contaminante (miligramo de cromo) por unidad de volumen (litros), entonces tenemos lo siguiente:

En el sistema 1, hay 2 miligramos de cromo en 5 litros de volumen, entonces su valor de concentración es 0,4 mg / litro.

En el sistema 2, hay 4 miligramos de cromo en 10 litros de volumen, entonces su valor de concentración de 0,4 mg / litro.

Tabla 1. Parámetros establecidos en los Límites Máximos Permisible de efluentes para alcantarillado en la actividad de curtiembre

Parámetros	Curtiembre
pH	6,0 - 9,0
Temperatura (°C)	35
Sólidos Susp. Tot. (mg/L)	500
DBO5 (mg/L)	500
DQO (mg/L)	1500
Sulfuros (mg/L)	3
Cromo VI (mg/L)	0,4
Cromo Total (mg/L)	2

Fuente: adaptado del Decreto Supremo N° 003-2002-PRODUCE. Límites Máximos Permisibles y Valores referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel.

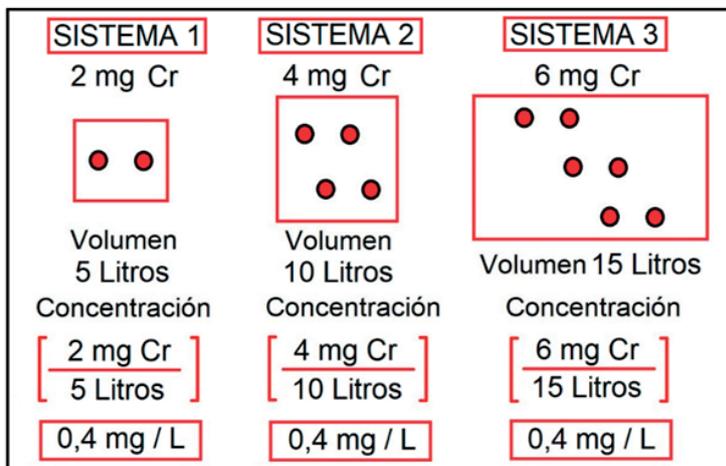


Figura 1. Determinación de la concentración de cromo (mg/L), a partir de los valores de masa de cromo (mg Cr) y volumen (L) en diferentes sistemas.

Nota: Cr: cromo (sustancia química contaminante), mg Cr: miligramos de cromo, L: litros del sistema, mg/L: unidades de la concentración de cromo en miligramo por litro.

En el sistema 3, hay 6 miligramos de cromo en 15 litros de volumen, entonces su valor de concentración es 0,4 mg / litro.

De esta forma se establece que los valores de concentración en las emisiones y efluentes pueden ser los mismos aun cuando estos sistemas presenten una menor o mayor “cantidad de sustancia química contaminante”. Como consecuencia, pueden generar un menor o mayor impacto ambiental en los ecosistemas (esto no tomado en cuenta según la normativa que establece un valor de concentración, independiente del volumen total descargado en la emisión o el efluente). En la Tabla 2 podemos establecer un mejor análisis de estos cálculos, evidenciándose que, a mayor “cantidad de la masa de sustancia química contaminante”, puede ser mayor la posibilidad de causar daño ambiental en los diversos ecosistemas.

4.2 Cantidad de sustancia química contaminante

La contaminación ambiental se realiza por la presencia de ciertas “cantidades de masa de sustancias químicas contaminantes” que pueden generar daños ambientales en los suelos, aguas o la atmósfera, provocando incluso diversas enfermedades, es decir, daños a las personas. Con respecto a este último aspecto, Tello (2014) menciona:

Se verifica la relación entre las enfermedades respiratorias agudas más comunes de la localidad de Huaynacancha con las concentraciones de Pb en la calidad del aire, pese a que las lecturas de concentraciones de plomo que se señalan en este estudio no sobrepasan el estándar de calidad ambiental (ECA para el aire 0.5 ug/m³ promedio anual), sin embargo, y pese a esto, se ha podido ver la existencia de una correlación moderada a

alta, principalmente con los casos de rinofaringitis y con la amigdalitis aguda (p. 110).

Para establecer la “cantidad de masa de sustancia química contaminante”, se realiza un análisis de “balance de materia” en el sistema (ecosistema), siendo esta propuesta un principio básico de la ingeniería química, por tratarse de una ecuación de conservación de materia. En la Figura 2 se muestra dicho balance, donde se establecen los valores de acumulación, entrada, salida, generación y consumo de sustancias químicas. Todo esto está en función de la “cantidad de masa de sustancia química”, es decir, no establece un balance con único término “concentración de sustancia química”, sino que establece que son necesarios otros parámetros para poder considerar la “cantidad de masa de sustancia química”. Este análisis se fundamenta en la ley generalizada de la conservación de materia en los procesos químicos.

De acuerdo con el análisis que se está desarrollando en el presente artículo de investigación, es importante reconocer que el balance de materia se realiza con respecto a la masa de una determinada sustancia química definida (Thompson & Ceckler, 1979).

El principio del balance de materia establece a la “cantidad de masa de sustancia química” como unidad de análisis, presente en los términos acumulación, entrada, salida, generación y consumo de materiales. Para ello, se plantea complementar el parámetro ambiental conocido como “concentración”, establecido por las diversas normas ambientales. Asimismo, se propone adicionar otros parámetros ambientales para obtener el valor de la “cantidad de masa de sustancia química contaminante” considerada como agente contaminante que realiza múltiples daños ambientales.

Tabla 2. Relación entre la cantidad de masa de sustancia química contaminante (cromo), volumen, concentración y los efectos contaminantes en los ecosistemas

Masa de cromo (mg)	Volumen (L)	Concentración (mg Cr / L)	Efecto contaminante en los ecosistemas
2	5	0,4	Menor impacto ambiental
6	15	0,4	Mayor impacto ambiental

Nota: mg: miligramo de cromo, L: litros del sistema, mg Cr/ L: miligramo de cromo por litro.

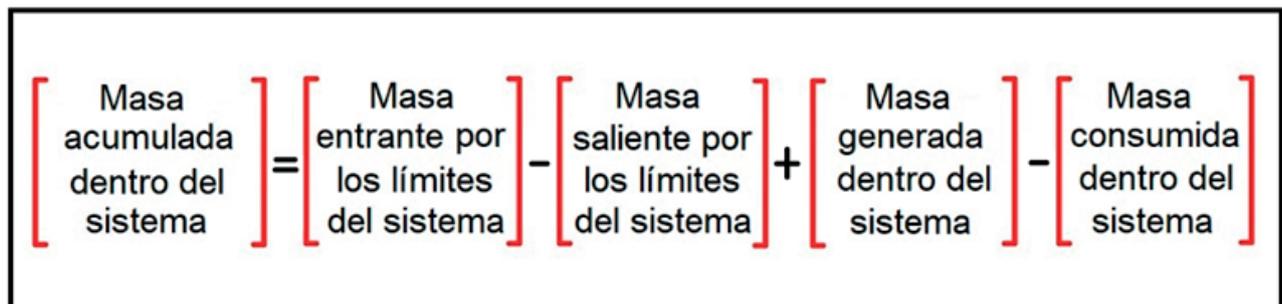


Figura 2. Principio fundamental de balance de materia desarrollado por la ingeniería química para establecer la ley generalizada de la conservación de materia.

Fuente: adaptado de Himmelblau (1974)

Para determinar los parámetros propuestos se considera, además, el valor del flujo (caudal) de una corriente de materia transportada (efluente o emisión), y el tiempo por la cual hace el transporte un material (mezcla líquida o gaseosa), a través de una línea de proceso, conteniendo a la sustancia química analizada (la que genera contaminación) en el balance de materia (Felder & Rousseau, 1981).

En la Figura 3 se observa que al complementar el parámetro “concentración” con los otros dos parámetros ambientales propuestos (flujo y tiempo), estos en conjunto pueden determinar “la cantidad de masa de sustancia química contaminante”.

En los Límites Máximos Permisibles (LMP), el parámetro “concentración” se presenta en unidades parte por millón, ppm (mg / L), es decir, la cantidad en masa de miligramos (mg) de sustancia química contaminante por unidad de volumen del sistema expresado en litros (L), ante ello se presenta parámetros ambientales para complementar y determinar la “cantidad de masa de la sustancia química contaminante” que causa o puede causar impactos ambientales al ser descargados al ambiente, siendo estos:

- a. El flujo o caudal expresado en unidades de volumen por unidad de tiempo (L / h),

- b. El tiempo del proceso, expresado en horas (h).

En la práctica ambos parámetros propuestos son factibles de ser medidos por las respectivas entidades fiscalizadoras en materia ambiental, para poder determinar la “cantidad de masa de sustancia química contaminante” que es descargada como efluente o emisión por la actividad humana. Como ejemplo veamos el siguiente caso práctico:

Un fiscalizador ambiental visita 3 empresas: “Empresa A”, “Empresa B” y la “Empresa C”, que descargan efluentes (para evaluar los parámetros establecidos en los límites máximos permisible de efluentes para alcantarillado en la actividad de curtiembre) que contienen cromo VI, o cromo hexavalente (Cr⁶⁺), y los resultados del análisis químico (concentración), caudal y tiempo de operación, son los siguientes:

Empresa A: Concentración = 0,2 mg/L Cr⁶⁺, caudal = 20 L/s, tiempo de proceso = 8 horas

Empresa B: Concentración = 0,4 mg/L Cr⁶⁺, caudal = 10 L/s, tiempo de proceso = 8 horas

Empresa C: Concentración = 0,6 mg/L Cr⁶⁺, caudal = 5 L/s, tiempo de proceso = 8 horas

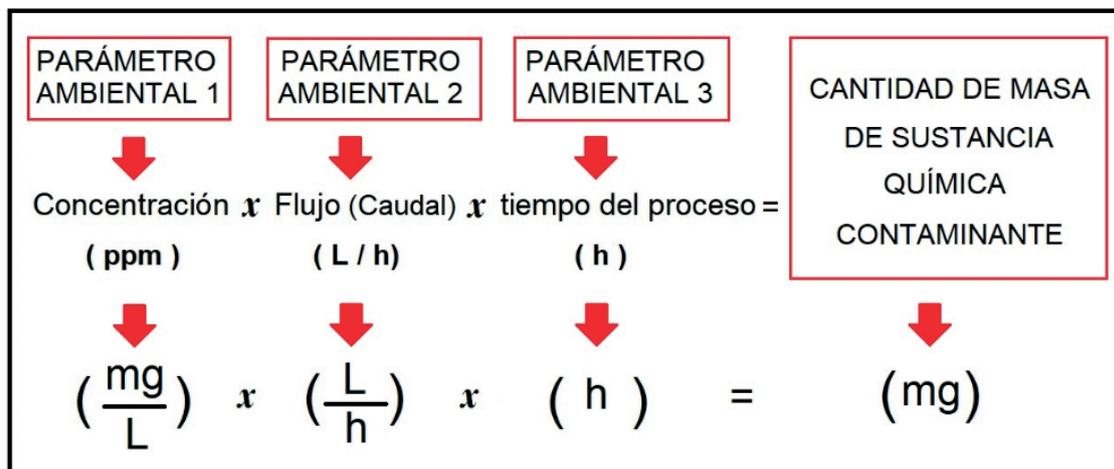


Figura 3. Parámetros complementarios para determinar la cantidad de masa de sustancia química contaminante que causa daños ambientales.

Nota: ppm: partes por millón, mg: miligramo, L / h: litros / hora, h: hora.

Empresa A:

$$\left(\frac{0,2 \text{ mg Cr}^{6+}}{1 \text{ L}}\right) \left(\frac{10^{-3} \text{ g Cr}^{6+}}{1 \text{ mg Cr}^{6+}}\right) \left(\frac{20 \text{ L}}{\text{s}}\right) \left(\frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}}\right) 8 \text{ h} = 115,2 \text{ gramos de Cr}^{6+}$$

Empresa B:

$$\left(\frac{0,4 \text{ mg Cr}^{6+}}{1 \text{ L}}\right) \left(\frac{10^{-3} \text{ g Cr}^{6+}}{1 \text{ mg Cr}^{6+}}\right) \left(\frac{10 \text{ L}}{\text{s}}\right) \left(\frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}}\right) 8 \text{ h} = 115,2 \text{ gramos de Cr}^{6+}$$

Empresa C:

$$\left(\frac{0,6 \text{ mg Cr}^{6+}}{1 \text{ L}}\right) \left(\frac{10^{-3} \text{ g Cr}^{6+}}{1 \text{ mg Cr}^{6+}}\right) \left(\frac{5 \text{ L}}{\text{s}}\right) \left(\frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}}\right) 8 \text{ h} = 86,4 \text{ gramos de Cr}^{6+}$$

El análisis de cantidad de cromo hexavalente descargado al ambiente, según los parámetros propuestos, sería de la siguiente forma:

(Concentración) x (Caudal) x (tiempo) = (Cantidad de sustancia química contaminante)

En la norma ambiental peruana, el valor límite máximo permisible (LMP) del parámetro cromo hexavalente (concentración de Cr⁶⁺) es igual a 0,4 mg/L (Tabla 1), podemos analizar que la Empresa A, siendo menor el valor de concentración (0,2 mg/L es menor que el valor límite igual a 0,4 mg/L) no estaría realizando una infracción de la norma ambiental, pero la cantidad de cromo descargada al ambiente es la misma que la Empresa B (ambas descargan al ambiente una cantidad de 115,2 gramos de Cr⁶⁺), esta última tiene el valor límite de concentración, es decir, 0,4 mg/L (según la norma ambiental que se muestra en la Tabla 1). Por otro lado, la Empresa C, si excede el valor del parámetro ambiental tipificado por la norma ambiental peruana (0,6 mg/L es mayor que el valor límite de 0,4 mg/L), lo que implica una sanción por parte del Estado peruano, pero ocurre algo interesante, la cantidad de cromo descargada (86,4 gramos de Cr⁶⁺), es menor que los dos primeras empresas, este resultado obtenido (establecer que la última empresa descarga menos sustancia contaminante pero sobrepasa los límites permisibles) es por utilizar los otros parámetros propuestos en el presente trabajo de investigación, es decir, considerar los valores de caudal y el tiempo de operación del proceso.

V. CONCLUSIÓN

Como resultado del estudio, se propone incorporar estos nuevos parámetros de medición en las normas ambientales actuales, tanto el “flujo de materiales o caudal (L/h)” como el “tiempo de operación del proceso (h)”, puesto que ambos complementan el parámetro “concentración de sustancia química contaminante” presente en el Límite Máximo Permisible (LMP). De esta forma se obtiene como resultado la “cantidad de masa de sustancia química contaminante”, con ello se puede realizar un adecuado control de las sustancias químicas contaminantes descargadas (efluentes, emisiones) por las diversas actividades humanas, esto como parte de la evaluación del grado de daño ambiental, esto permitirá garantizar la salud de las personas al prevenir enfermedades por sustancias contaminantes, así como el respeto de la naturaleza, en esta y en las futuras generaciones de nuestra especie.

VI. AGRADECIMIENTOS

Agradecer a la Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

VII. REFERENCIAS

Calderón, G., Dajes, J., Dargent, E., Elías, H., Flórez, C., Huiza, J. L., Llontop, S., Rosas, F., Seiner, L., & Winfell, G. (2003). *Sociedad y cambio en occidente: siglo XI-XX* (4ta ed.).

Universidad de Lima, Fondo de Desarrollo Editorial. <https://www.ulima.edu.pe/publicaciones/sociedad-y-cambio-en-occidente-siglos-xi-xx>

Chang, R. (2007). *Química* (7th ed.). Mc Graw Hill/Interamericana Editores S.A. de C.V. <https://sacaba.gob.bo/images/wsacaba/pdf/libros/quimica/Chang-QuimicaGeneral7thedicion.pdf>

FAOLEX. (2007). *Decreto N° 33601-MINAE-S — Reglamento de vertido y reúso de aguas residuales*. La Gaceta N° 55, Alcance N° 8. <https://www.fao.org/faolex/results/details/es/c/LEX-FAOC071694/>

Felder, R. M., & Rousseau, R. W. (1981). *Principios elementales de los procesos químicos*. El Manual Moderno S.A. de C.V. https://www.academia.edu/39506964/Principios_elementales_de_los_procesos_quimicos

Himmelblau, D. M. (1974). *Principios y Cálculos Básicos de la Ingeniería Química* (6ª. ed.). Pearson Educación. <https://blog.utp.edu.co/docenciaedwin/files/2015/06/Principios-B%C3%A1sicos-y-C%C3%A1lculos-en-Ingenier%C3%ADa-Qu%C3%ADmica-6%C2%BA-edici%C3%B3n-David-M.-Himmelblau-Prentice-Hall.pdf>

MINAM. (2005). *Ley General del Ambiente N° 28611*. Congreso de La República. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-28611.pdf>

Ministerio de Comercio e Industrias de Panamá. (2000). *Norma Técnica DGNT – COPANIT – 35*. Gaceta Oficial 24-115. https://www.asep.gob.pa/wp-content/uploads/agua/legislacion/dgnti_35-2000.pdf

ONU. (1973). *Informe de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano*. CONFERENCIA DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL MEDIO HUMANO. <https://www.dipublico.org/conferencias/mediohumano/A-CONF.48-14-REV.1.pdf>

PRODUCE. (2002). *Decreto Supremo N° 003-2002-PRODUCE. Aprueban Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel*. Sistema Nacional de Información Ambiental-SINIA: Ministerio de La Producción-PRODUCE. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-limites-maximos-permisibles-valores-referenciales-las>

PRODUCE. (2019). *Resolución Directoral N°00982 – PRODUCE/ DGAAMI*. MINISTERIO DE LA PRODUCCIÓN. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/461504/110694_1.pdf

Pumacayo Zegarra, J. L., Anaya Osorio, A. M., Erazo, R., Blas Rodríguez, F., Ninan Manga, O., Cornejo Sanchez, A., & Fajardo Manrique, J. (2021). Estudio de la interacción química y bactericida de las nanopartículas de óxido de zinc frente a *Staphylococcus aureus*. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 24(48), 175–180. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i48.21771>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (1997). *Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los Límites Máximos Permisibles de Contaminantes en las descargas*. Diario Oficial de La Federación. <http://siga.jalisco.gob.mx/Assets/documentos/normatividad/nom001semarnat1996.htm>

- Tello, V. (2014). Las emisiones de plomo del Complejo Metalúrgico Doe Run y su relación con las infecciones respiratorias agudas de los pobladores de la localidad de Huaynacancha, Distrito de La Oroya - Yauli - Junín – Perú. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 17(33), 105–111. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v17i33.11509>
- Thompson, E. v., & Ceckler, W. H. (1979). *Introducción a la ingeniería química: Vol. viii.* : Editorial McGraw-Hill Latinoamericana. <https://catalogosiidca.csuca.org/Record/UP.35360>
- Villalobos Gonzáles, W., & Hernández Chaverri, R. (2018). Vista de Comparación de la normativa ambiental costarricense con países de América y Europa (España). *Repertorio Científico*, 21(2), 1–14. <https://revistas.uned.ac.cr/index.php/repertorio/article/view/2405/2974>
- Zaratti, F. (2009). CRISIS DEL OZONO Y CRISIS CLIMÁTICA: SIMILITUDES Y DIFERENCIAS. *Revista Boliviana de Física*, 15(15), 19–21. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1562-38232009000100004&lng=es&nrm=iso&tlng=es