



SOCIEDAD-MEDIO AMBIENTE

El futuro fluye

Gotas de cambio en el análisis de la
contaminación y sostenibilidad hídrica.
Casos de estudio

***Editor.* Oscar Tinoco Gómez**

Jorge Enrique Castillo Cueva
Schelah Nadia De la Colina Rivas
Miguel Angel Oruna Rodriguez
Alberto Rodriguez Palacios Miñano
Aldo Guillermo Rivadaneira Cuya
Darwin Dean Duran Janampa
Percy Wenceslao Lature Bustamante
Alcides Guillermo Joo Aguayo
Augusto Denis Madueño Macedo

Eduardo Julian Villarroel Nuñez
Juan Enrique Sigarróstegui Gutiérrez
Duilio Angel Aranda Ipince
Silvia Coronado Ramirez
Luis Adrián González Quiñónez
Pedro Jesús De Bracamonte Morales
Julio Douglas Vergara Trujillo
Deina Candelaria Tinoco Orihuela
Oscar Rafael Tinoco Gómez

El futuro fluye

Gotas de cambio en el análisis de la
contaminación y sostenibilidad hídrica.

Casos de estudio

Editor. Oscar Tinoco Gómez

El futuro fluye

Autores:

- | | |
|-------------------------------------|--|
| © Jorge Enrique Castillo Cueva | © Eduardo Julian Villarroel Nuñez |
| © Schelah Nadia De la Colina Rivas | © Juan Enrique Sigarróstegui Gutiérrez |
| © Miguel Angel Oruna Rodriguez | © Duilio Angel Aranda Ipince |
| © Alberto Rodriguez Palacios Miñano | © Silvia Coronado Ramirez |
| © Aldo Guillermo Rivadaneira Cuya | © Luis Adrián González Quiñónez |
| © Darwin Dean Duran Janampa | © Pedro Jesús De Bracamonte Morales |
| © Percy Wenceslao Lature Bustamante | © Julio Douglas Vergara Trujillo |
| © Alcides Guillermo Joo Aguayo | © Deina Candelaria Tinoco Orihuela |
| © Augusto Denis Madueño Macedo | © Oscar Rafael Tinoco Gómez |

Editado por :

© Oscar Rafael Tinoco Gómez
Calle El Abutillon 3881, Urb. Las Palmeras - Los Olivos
otinocog@unmsm.edu.pe

Diagramación de texto, maquetación y diseño:

© Carlos Alberto Vega Vidal

Hecho el depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2025-00101

Primera edición digital, Enero 2025

ISBN: 978-612-03-0468-6

Libro electrónico disponible en: [http:// librosctscafe.ctscafe.pe/](http://librosctscafe.ctscafe.pe/)

ISBN: 978-612-03-0468-6



Capítulo 2

Contaminación y control de contaminación de aguas residuales industriales

Jorge Enrique Castillo Cueva

Schelah Nadia De la Colina Rivas

Miguel Angel Oruna Rodriguez

Alberto Rodriguez Palacios Miñano

Aldo Guillermo Rivadaneyra Cuya

INTRODUCCIÓN

Definición de aguas residuales industriales

Las aguas residuales generadas por actividades industriales y de manufactura contienen una amplia gama de contaminantes. Estos contaminantes incluyen productos químicos, metales pesados, aceites, grasas y otros residuos tóxicos que pueden tener efectos negativos en el medio ambiente y la salud humana (Kumar et al., 2019; Li et al., 2020). La composición y la concentración de estos contaminantes varían considerablemente dependiendo del tipo de industria y los procesos aplicados.

Las aguas residuales industriales se dividen principalmente en tres categorías: contaminantes químicos, físicos y biológicos. Los contaminantes químicos comprenden sustancias tóxicas como metales pesados (mercurio, plomo, cadmio) y compuestos orgánicos volátiles (COVs) que pueden ser carcinogénicos o disruptores endocrinos (Smith et al., 2021). Los contaminantes físicos incluyen sólidos en suspensión y variaciones térmicas que pueden impactar negativamente

los ecosistemas acuáticos. Finalmente, los contaminantes biológicos abarcan microorganismos patógenos como bacterias, virus y protozoos, que pueden ocasionar enfermedades infecciosas (Zheng et al., 2022).

La correcta gestión de las aguas residuales industriales es esencial para reducir su impacto ambiental. Esto requiere la implementación de tecnologías de tratamiento avanzadas, tales como sistemas de filtración por membranas, procesos biológicos y tratamientos químicos, con el fin de eliminar o disminuir la concentración de contaminantes antes de su vertido en cuerpos de agua o su reutilización en procesos industriales (Wang et al., 2023). Las empresas deben cumplir con estrictas normativas y adoptar prácticas sostenibles para asegurar la protección de los recursos hídricos y la salud pública.

Fuentes de generación de ARI:

Las ARI se generan en una amplia gama de industrias, incluyendo:

- **Industria química:** Fabricación de productos químicos, plásticos, pesticidas, etc.
- **Industria textil:** Teñido, acabado y tratamiento de telas.
- **Industria alimentaria:** Procesamiento de alimentos y bebidas.
- **Industria metalúrgica:** Siderurgia, fundición, galvanizado, etc.
- **Industria minera:** Extracción y procesamiento de minerales.
- **Industria papelera:** Fabricación de papel, cartón y productos derivados.
- **Industria del cuero:** Curtido y acabado de pieles.
- **Industria petrolera:** Refinación de petróleo y gas natural.

Características de las ARI: Las aguas residuales industriales (ARI) son las que se han utilizado en procesos industriales y que, por ello, han adquirido características físicas, químicas o biológicas diferentes a las del agua natural. Estas características pueden ser debidas a la presencia de contaminantes como materia orgánica, sólidos suspendidos, aceites y grasas, metales pesados, compuestos tóxicos, entre otros.

Fuentes de generación de ARI:

Las ARI se generan en una amplia gama de industrias, incluyendo:

- **Industria química:** Fabricación de productos químicos, plásticos, pesticidas, etc.
- **Industria textil:** Teñido, acabado y tratamiento de telas.
- **Industria alimentaria:** Procesamiento de alimentos y bebidas.
- **Industria metalúrgica:** Siderurgia, fundición, galvanizado, etc.
- **Industria minera:** Extracción y procesamiento de minerales.
- **Industria papelera:** Fabricación de papel, cartón y productos derivados.
- **Industria del cuero:** Curtido y acabado de pieles.
- **Industria petrolera:** Refinación de petróleo y gas natural.

Características de las ARI:

La cantidad y calidad de las ARI generadas por cada industria varía considerablemente, dependiendo de los procesos productivos específicos que se lleven a cabo. Algunas características generales de las ARI incluyen:

Las aguas residuales industriales generalmente presentan una alta concentración de contaminantes, lo que las convierte en una amenaza ambiental mayor en comparación con las aguas residuales domésticas.

Además, estas aguas residuales industriales pueden incluir contaminantes peligrosos como metales pesados, sustancias tóxicas y disolventes, los cuales pueden tener efectos perjudiciales tanto para la salud humana como para el medio ambiente.

La composición de las aguas residuales industriales puede variar considerablemente a lo largo del tiempo, dependiendo de las actividades industriales específicas que las generen.

Impactos ambientales de las ARI:

Las ARI pueden tener diversos impactos ambientales, incluyendo:

- **Contaminación del agua:** Las aguas residuales industriales tienen el potencial de contaminar ríos, lagos, aguas subterráneas y mares, lo que puede degradar la calidad del agua y perjudicar a los ecosistemas acuáticos

- **Eutrofización:** El exceso de nutrientes en las aguas residuales industriales puede causar un aumento de materia orgánica en los cuerpos de agua, lo que lleva a un crecimiento descontrolado de algas y la subsecuente mortalidad de peces
- **Acidificación:** Las ARI ácidas pueden acidificar los cuerpos de agua, lo que puede dañar los ecosistemas acuáticos y afectar la salud humana.
- **Salinización:** Las ARI con alto contenido de sales pueden salinizar los suelos y el agua, lo que puede afectar la agricultura y la disponibilidad de agua potable.

Breve historia y contexto global

La generación de aguas residuales industriales (ARI) ha sido una consecuencia inevitable del desarrollo industrial desde sus inicios. Sin embargo, la conciencia sobre los impactos ambientales de las ARI y la necesidad de su control no comenzó a desarrollarse hasta el siglo XX. A continuación, se presenta un resumen de la breve historia y el contexto global de la contaminación por aguas residuales industriales:

Siglo XIX:

- **Industrialización:** La Revolución Industrial, iniciada en el siglo XVIII, impulsó el desarrollo de fábricas y procesos industriales que generaban grandes cantidades de aguas residuales sin tratamiento.
- **Contaminación evidente:** Los impactos de las ARI en los cuerpos de agua y el medio ambiente se hicieron cada vez más evidentes, causando daños a la salud humana y a los ecosistemas.
- **Falta de regulaciones:** No existían regulaciones o leyes específicas para el control de la descarga de ARI, lo que permitía a las industrias verter sus aguas residuales sin restricciones.

Siglo XX:

- **Primeras regulaciones:** En la década de 1970, comenzaron a surgir las primeras regulaciones ambientales en muchos países, estableciendo límites para la descarga de contaminantes en las ARI.
- **Conciencia ambiental:** El movimiento ambientalista ganó impulso, creando conciencia sobre la necesidad de proteger el medio ambiente y la salud humana de los impactos de la contaminación industrial.

- **Desarrollo de tecnologías:** Se desarrollaron nuevas tecnologías para el tratamiento de ARI, como los sistemas de tratamiento biológico y de membranas, mejorando la capacidad para eliminar contaminantes.

Siglo XXI:

- **Regulación más estricta:** Las regulaciones para el control de las ARI se han vuelto más estrictas y completas, abarcando una amplia gama de contaminantes y estableciendo estándares de calidad del agua más exigentes.
- **Búsqueda de la sostenibilidad:** La gestión sostenible del agua se ha convertido en un tema central, con empresas e industrias buscando reducir su consumo de agua y minimizar la generación de ARI.
- **Desafíos persistentes:** A pesar de los avances, la contaminación por ARI sigue siendo un problema ambiental importante a nivel global, requiriendo esfuerzos continuos para su control y tratamiento efectivo.

Factores que han influido en la evolución de la contaminación por ARI:

- **Avances tecnológicos:** El desarrollo de tecnologías de tratamiento de ARI ha permitido mejorar la eficiencia en la eliminación de contaminantes y reducir su impacto ambiental.
- **Crecimiento industrial:** El crecimiento industrial ha aumentado la cantidad de ARI generadas, lo que ha impulsado la necesidad de mejores prácticas de gestión y tratamiento.
- **Preocupaciones ambientales:** La creciente conciencia sobre los impactos ambientales de la contaminación ha motivado la implementación de regulaciones más estrictas y la búsqueda de soluciones sostenibles.
- **Cooperación internacional:** La colaboración entre países y organizaciones internacionales ha facilitado el intercambio de conocimientos y experiencias en la gestión de ARI.

Retos y desafíos actuales:

- **Falta de acceso a tratamiento:** En algunos países en vías de desarrollo, todavía existe una falta de acceso a tecnologías de tratamiento de ARI adecuadas, lo que resulta en la descarga de aguas residuales sin tratar al medio ambiente.
- **Cumplimiento de regulaciones:** El cumplimiento de las regulaciones para el control de ARI sigue siendo un desafío en algunos sectores industriales y regiones.

- **Costos de tratamiento:** La implementación de tecnologías de tratamiento de ARI puede ser costosa, lo que representa un obstáculo para algunas empresas, especialmente las pequeñas y medianas empresas.
- **Nuevos contaminantes:** La aparición de nuevos contaminantes en las ARI, como productos farmacéuticos y compuestos emergentes, presenta nuevos desafíos para su tratamiento y control.

TIPOS DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

El 59% del consumo total de agua en los países desarrollados están destinados al uso industrial, el 30% al consumo agrícola y un 11% al consumo doméstico, según el primer informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos del mundo. En 2025, el consumo de agua destinada al uso industrial alcanzará los 1.170 km³ año, cifra que en 1995 se situaba en 752 km³/año. El sector productor es el que más consume y el que más contamina. En los países industrializados se producen más de un 80% de los desechos peligrosos del mundo, mientras que en las naciones en desarrollo un 70% de los residuos generados en las fábricas se vierten al agua sin tratamiento previo, contaminando así los recursos hídricos disponibles (Rodríguez et al., 2006).

Hernández, Moreno & Sandoval (2017), consideran que el agua está contaminada cuando alguna de sus propiedades químicas, biológicas o físicas es alterada, afectando la vida acuática y provocando cambios marcados en la estructura de sus comunidades, además, cuando se introducen elementos superiores a los niveles de seguridad de los humanos, para el uso agrícola o industrial.

A su vez, distingue dos tipos de fuentes de contaminación:

- **Puntuales:** se identifican y provienen de un punto concreto, como una tubería de drenaje descargado directamente en un cuerpo de agua.
- **No puntales o difusas:** se presentan cuando los contaminantes llegan indirectamente al agua mediante cambios ambientales, difíciles de controlar y en su mayoría son la fuente contaminante de ríos, lagos y mares. Estas son vertidas superficialmente de sustancias químicas o infiltradas desde tierras de cultivo.

Contaminación industrial

Según CONAGUA (2010), en México, la industria autoabastecida sólo consume 10% del agua total (7.3 km³ anuales), la contaminación que genera en demanda bioquímica de oxígeno es tres veces mayor que la que producen 100 millones de habitantes. En 2002, las industrias con mayores descargas contaminantes fueron (ver Tabla 1):

Tabla N°1: Industrias con mayores descargas contaminantes de México.

Industria	m ³ /s	%
Acuacultura	67,6	39,6%
Azucarera	45,9	26,9%
Petrolera	11,4	6,7%
Servicios	10,3	6,0%
Química	6,9	4,0%
Otras	28,5	16,7%
Total	170,6	

Fuente: CONAGUA (2010).

A su vez, la industria azucarera es la que produce la mayor materia orgánica contaminante, mientras que la petrolera y química son las que generan contaminantes con mayor impacto ambiental. El sector industrial compite con otros sectores productivos por el uso del agua, particularmente con el agrícola, y en algunas regiones esto se convierte en un factor de conflicto social y político (Hernández et al., 2017).

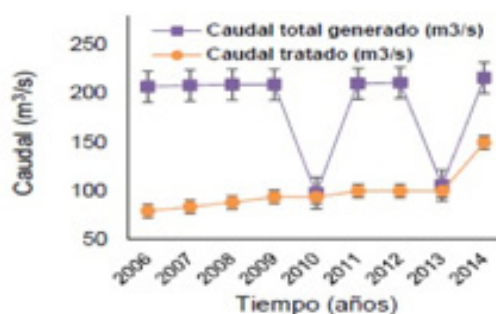
Según Echarri (2010, citado por Hernández et al., 2017), las aguas residuales industriales son provenientes de cualquier actividad o negocio que cuentan con procesos de producción que utilicen agua. Son variables en cuanto a caudal y composición, y sus características cambian de una industria a otra y de un mismo tipo de industria.

En México, más del 70% de los cuerpos de agua presentan cierto grado de contaminación, ocasionando graves problemas de disponibilidad del agua y pasando en menos de 60 años de 19,365 a 3,982 m³ por habitante al año, debido al incremento de la demanda de agua en zonas con menor disponibilidad de recursos, principalmente en el norte y centro del país (CONAGUA, 2016).

Para CONAGUA (2016), de los 214.6 m³/s de agua residual generada por el sector industrial, solo se trata 70.5 m³/s (ver Figura 1), dejando sin ningún tipo de tratamiento el 67.06% de estas a las empresas formalmente constituidas (grandes

y medianas) quienes reportan datos a fuentes oficiales, mientras que las pequeñas y micro empresas que constituyen el 98.7% de la actividad industrial en el país no tratan las aguas residuales que generan y mucho menos las industrias no formales que se desarrollan en comunidades rurales alejadas.

Figura N°1: Caudal generado y tratado en plantas de tratamiento de aguas residuales industriales 2006-2014.



Fuente: CONAGUA (2010).

Actualmente, hay varios programas que permiten a pequeños y microempresarios implementar plantas de tratamiento quienes, en coordinación con los municipios, coadyuben a disminuir la alta contaminación generada sin control en cuerpos de aguas locales (CONAGUA, 2015).

Lo anterior permitiría prevenir la contaminación hormiga que sumada en zonas específicas pueda generar verdaderos desastres naturales.

A continuación, se presentan tres tipos de contaminantes: químicos, biológicos y físicos.

Contaminantes químicos:

Según Salgado et al. (2011), la contaminación química proveniente de residuos industriales es un problema que afecta la calidad del agua a nivel mundial y una de las estrategias actuales para su manejo es el tratamiento de efluentes. Entre los contaminantes químicos peligrosos están los metales pesados, los compuestos orgánicos volátiles y nutrientes.

Metales pesados: Proviene de una gran variedad de fuentes: baterías, cerámicas, bombillos de luz eléctrica, pinturas, aceite de motor usado, plásticos, entre otras, y no se degradan naturalmente, permanecen en los sedimentos y son liberados lentamente en cuerpos de agua, aun cuando se encuentra en cantidades bajas e indetectables, su recalcitrancia y persistencia a través de procesos naturales, como la biomagnificación, su concentración llega a ser tan elevada que se convierte en

tóxica. Entre los más perjudiciales están: cadmio, plomo, cromo y mercurio, los cuales pueden presentar efectos tóxicos sobre grupos funcionales vitales de los seres vivos (Salgado et al., 2011).

Para Zheng et al. (2019), los metales pesados como el mercurio (Hg), cadmio (Cd), plomo (Pb) y arsénico (As) son altamente tóxicos y persistentes en el ambiente. Proviene de diferentes industrias como la minería, metalurgia, y de la fabricación de baterías y pinturas. La exposición a estos metales puede causar daño renal, enfermedades cardiovasculares y trastornos neurológicos.

Compuestos orgánicos volátiles: Para Envira (2024), estos compuestos contienen carbono y su principal característica es que se evaporan fácilmente a temperatura ambiente. Son emitidos por productos químicos industriales, solventes, combustibles, pinturas, productos de limpieza, productos de cuidado personal y procesos de combustión. Se pueden clasificar en varias categorías, según su estructura química como Hidrocarburos (metano, etano, propano, benceno, hexano), Alcoholes (metanol, etanol, isopropanol), Aldehídos (formaldehído, acetaldehído, benzaldehído), Cetonas (acetona, metil-etil-cetona, ciclohexanona), Éteres (éter etílico, éter metil-terc-butílico), Ésteres (acetato de etilo, butirato de metilo) y Aromáticos (tolueno, xileno, naftaleno).

Por su peligrosidad para la salud (benceno, cloruro de vinilo y 1,2 dicloroetano), compuestos de Clase A que causan daños significativos al medio ambiente (acetaldehído, anilina, tricloroetileno, etc.) y compuestos de Clase B que tienen menor impacto en el medio ambiente (acetona y etanol). Además, tienen efectos negativos en el medioambiente y la salud humana, siendo muy importante el control de sus emisiones. En cuanto a la contaminación del agua y del suelo, pueden terminar en las aguas subterráneas llegando incluso a contaminar el agua potable y cuando se liberan al suelo, pueden persistir y afectar la calidad de este y a la vida vegetal. Entre los efectos en la salud humana se puede mencionar Irritación respiratoria (irritación en los ojos, la nariz, la garganta y los pulmones, lo que puede llevar a síntomas como ardor, picazón, congestión nasal, tos y dificultad para respirar), Problemas respiratorios (asma o dificultad para respirar en general), Efectos neurológicos (benceno, tolueno y disolventes orgánicos que tienen efectos tóxicos en el sistema nervioso central, causando mareos, dolores de cabeza, confusión, pérdida de memoria y en casos graves, daño neurológico), Problemas hepáticos y renales (tetracloruro de carbono, que puede causar daño al hígado y a los riñones, afectando su función normal) y Efectos carcinogénicos (benceno, formaldehído y compuestos de cloruro de vinilo, se han asociado con un mayor riesgo de desarro-

llar cáncer en estudios epidemiológicos y en experimentos con animales) (Envira, 2024).

Para Li et al (2020), los compuestos orgánicos, incluidos los compuestos orgánicos volátiles (COVs), pesticidas, herbicidas y productos farmacéuticos, son comunes en las aguas residuales industriales. Estos contaminantes pueden tener efectos disruptores endocrinos y carcinogénicos. Por ejemplo, los ftalatos, utilizados como plastificantes, son conocidos por sus efectos disruptores endocrinos.

Nutrientes: como es el caso del nitrógeno y el fósforo, aunque esenciales para el crecimiento de las plantas, en concentraciones elevadas pueden causar eutrofización de cuerpos de agua. Esto provoca proliferación de algas, disminución del oxígeno disuelto y muerte de organismos acuáticos (Smith et al., 2019).

En el caso de Salgado et al. (2011), los compuestos del nitrógeno y fósforo son uno de los contaminantes más importantes de las aguas residuales por su eutrofización, su efecto en la concentración de oxígeno de las aguas receptoras y su toxicidad para los invertebrados acuáticos y vertebrados, incluyendo los humanos. Estos contaminantes también pueden afectar características como turbidez y olor del agua, lo que interfiere en actividades recreativas y de uso estético.

Contaminantes biológicos:

Incluyen microorganismos patógenos, como bacterias, virus y protozoos, que pueden causar enfermedades infecciosas.

Bacterias: Se tiene el caso de las bacterias patógenas como *Escherichia coli* y *Salmonella* son comunes en aguas residuales industriales de plantas de procesamiento de alimentos y granjas. Estas bacterias pueden causar infecciones gastrointestinales y otras enfermedades (Bhagwat et al., 2023).

Para ANDI (1997), los organismos más comúnmente empleados como indicadores de polución fecal o desechos son los *Escherichia* y todo el grupo de coliforme.

Virus: Según Ahmed et al. (2021), los virus entéricos, como la norovirus y el rotavirus, presentes en aguas residuales industriales, son resistentes a los tratamientos convencionales de depuración y pueden causar brotes de gastroenteritis.

Protozoos: patógenos como *Giardia* y *Cryptosporidium* son resistentes a la cloración y pueden sobrevivir en ambientes acuáticos, causando enfermedades gastrointestinales graves (Robertson et al., 2020).

Contaminantes físicos:

Incluyen sólidos suspendidos, turbidez y cambios de temperatura, que pueden alterar el hábitat acuático y afectar la calidad del agua.

Sólidos suspendidos: Para Gao et al. (2021), los sólidos en suspensión (SS) son partículas finas que permanecen suspendidas en el agua y provienen de procesos industriales como la minería y el procesamiento de alimentos. Estos sólidos pueden obstruir las branquias de los peces, reducir la penetración de luz y afectar la fotosíntesis de las plantas acuáticas.

Los sólidos suspendidos se determinan como la cantidad de material retenido después de realizar la filtración de un pequeño volumen de muestra (50ml) por las dificultades que se presentan en la filtración, además, aguas con altos contenidos de sólidos pueden ser laxantes y pierden cualidades organolépticas. La evaluación de sólidos suspendidos es muy valiosa en los análisis de aguas contaminadas y de aguas residuales, la que permite valorar la concentración de las aguas residuales domésticas y determinar la eficiencia de las unidades de tratamiento en el trabajo de control a la contaminación de corrientes (ANDI, 1997).

Turbidez: Para Chowdhury et al. (2020), la turbidez, medida de la claridad del agua, es causada por la presencia de partículas en suspensión. Afecta la calidad del agua potable y la eficiencia de los procesos de desinfección. Además, altos niveles de turbidez pueden transportar patógenos y sustancias tóxicas.

Temperatura: Según Elliott et al. (2022), el vertido de agua caliente de procesos industriales, conocido como contaminación térmica, puede alterar el equilibrio de los ecosistemas acuáticos. Aumentos de temperatura reducen la solubilidad del oxígeno en el agua y pueden ser letales para especies sensibles.

La temperatura es un parámetro muy importante por su efecto en la vida acuática, en las reacciones químicas, velocidades de reacción y en la aplicabilidad del agua a usos útiles. El oxígeno es menos soluble en el agua caliente que en la fría, un cambio repentino en las temperaturas puede dar como resultado un alto % de mortalidad en la vida acuática. Las temperaturas totalmente elevadas pueden dar lugar a un crecimiento indeseable de plantas acuáticas y hongos (ANDI, 1997).

IMPACTO DE LA CONTAMINACIÓN DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

A nivel global, la descarga sin tratamiento de aguas residuales industriales (ARI) afecta al medio ambiente y a la salud pública. Aquí se detallan algunos efectos del impacto de la contaminación de Aguas Residuales Industriales llamándolo en este artículo ICARI recopilados y enunciando de forma global, latinoamericana y Nacional como son los efectos en los ecosistemas acuáticos, los efectos en la salud humana e Impacto socioeconómico y en las comunidades, respectivamente.

Efectos en los ecosistemas acuáticos

- **Muerte de peces y otros organismos:** Los contaminantes presentes en las ARI afecta a la vida acuática, alterando la calidad del agua y provocando enfermedades y muerte en peces, crustáceos, insectos y otros organismos del hábitad.
- **Destrucción de hábitats:** Los contaminantes al acumularse en los sedimentos y el suelo, destruyendo hábitats acuáticos y afectando la cadena alimentaria.
- **Alteración del equilibrio ecológico:** El ICARI desequilibra los ecosistemas acuáticos naturales, reduciendo la biodiversidad y afectando la funcionalidad de los ecosistemas.
- **Eutrofización:** La descarga de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo provoca la eutrofización de los cuerpos de agua, lo que genera un crecimiento excesivo de algas y plantas acuáticas, que a su vez puede disminuir la concentración de oxígeno y asfixiar a los peces.

Efectos en la salud humana

- **Enfermedades:** El contacto con agua contaminada con las ARI provoca enfermedades como diarrea, disentería, hepatitis, cólera y otras enfermedades transmitidas por el agua.
- **Cáncer:** Algunos contaminantes presentes en las ARI, como los metales pesados y los compuestos orgánicos volátiles (COVs), son cancerígenos y pueden aumentar el riesgo de desarrollar cáncer.
- **Problemas reproductivos:** La exposición a ciertos contaminantes afecta a la salud reproductiva de las personas, causando problemas de fertilidad y malformaciones congénitas.

- **Daños neurológicos:** Algunos contaminantes, como el plomo y el mercurio, afecta el desarrollo del cerebro y el sistema nervioso, especialmente en niños.

Impacto socioeconómico y en las comunidades

- **Pérdida de la pesca:** La contaminación de los cuerpos de agua puede afectar la pesca, una fuente importante de alimento e ingresos para muchas comunidades locales.
- **Disminución del turismo:** La contaminación del agua puede desalentar el turismo, lo que afecta la economía local.
- **Aumento de los costos de tratamiento de agua potable:** La contaminación del agua potable aumenta los costos de tratamiento, lo que afecta a los hogares y las empresas.
- **Conflictos sociales:** La competencia por recursos hídricos escasos puede generar conflictos sociales entre comunidades.

El ICARI tiene un impacto negativo en el medio ambiente, la salud pública y las comunidades, en ese sentido es fundamental implementar medidas para prevenir y controlar la contaminación por aguas residuales industriales, protegiendo así los recursos hídricos y garantizando el bienestar de las personas.

Efectos en los ecosistemas acuáticos en LATAM

En Latinoamérica conocido en el presente artículo como LATAM, se han identificado artículos relacionados con el ICARI en México y Colombia. Es preocupante la ausencia de control sobre las plantas de tratamiento de las aguas residuales, evitando así contaminar los ecosistemas acuáticos en México y Colombia, como es la presencia de metales que superan lo permitido en los sedimentos marinos y el límite permisible de la norma internacional canadiense en los peces, respectivamente. En ambos casos son los efectos por la falta de control en la contaminación de aguas.

Considerando un problema crítico, ocasionado por los desechos vertidos a los ríos desde desperdicios sólidos y líquidos que son arrastrados hasta descargarse en el mar. *“Sabemos que hay 110 descargas al mar en nuestra zona, muchas supuestamente de aguas pluviales, pero estas siguen activas incluso en épocas sin lluvia,”* La situación empeora cuando se incluyen los contaminantes químicos, agregó el especialista. *“En los sedimentos marinos hemos encontrado residuos de plomo y arsénico, con niveles de arsénico que superan los permitidos,”* indicó Pérez España (Hernández, 2024).

En Antioquia, Colombia, Las ciénagas, El Salado y Marimonda son relevantes para las comunidades vecinas, sin embargo, no cuentan con saneamiento básico propios de sus vertimientos de aguas residuales como quema de basura, desperdicios propios de sus plaguicidas, desechos de animales. En el resultado de los análisis realizados se encontró en las especies *Andinoacara pulcher*, *Caquetaia kraussii* y *Piaractus brachipomus*, con concentraciones de metales pesados por debajo del límite de cuantificación (25,0 y 7,5 $\mu\text{g kg}^{-1}$ de Pb y Cd, respectivamente). Los resultados están por debajo de los límites permitidos de la Norma Colombiana. Así mismo, también se resalta que los resultados mencionados están dentro de los parámetros permitidos de la norma internacional canadiense. Ambos resultados son un referente de cómo se encuentran los peces con presencia de metales pesados, contaminados los peces en esa localidad, es una alerta para no confiarse y seguir realizando análisis de monitoreo por parte de las autoridades alimentarias y ambientales, para identificar si habrá variaciones fisicoquímicas y no salirse de los límites normativos (Hernández et al., 2020).

Efectos en la salud humana en LATAM

En LATAM, se han identificado artículos relacionados con el ICARI como en México, Estados Unidos, Brasil y Argentina. La falta de controles para tratar las aguas residuales genera contaminación de estas que al usarlas afectan a la salud humana, desde cepas de microbios resistentes a los antibióticos en aguas contaminadas, hasta daño a las personas por la inhalación del vapor de mercurio.

“Monitorean 14 playas a nivel federal y 7 a nivel estatal,” indicó el autor Pérez España, donde basado en las Norma Mexicana NOM-001 los resultados analizados de las playas mencionadas de enterococos permitidos son superior, es decir no cumplen para asegurar que las aguas sean seguras para los seres humanos. “*Playas como Gaviotas, Pelicano y Regatas, en la zona conurbada Veracruz- Boca del Río, han mostrado niveles de enterococos por encima de lo permitido,*” así lo mencionó el investigador (Hernández, 2024).

De acuerdo con la información publicada por ABC News, “*El sur del condado de San Diego se encuentra en un estado total de emergencia relacionado con la contaminación transfronteriza, y esto es una bomba de tiempo para la salud pública*”, ello debido a los resultados de las investigaciones de la Universidad Estatal de San Diego, en donde declaran al río Tijuana como “*crisis de salud pública*” debido a que sus aguas arrastran desde aguas residuales sin tratar hasta desechos industriales. La agencia de protección ambiental (EPA) realizó toma de muestras de las aguas en la frontera de Estados Unidos y México, obteniendo resultados

de los análisis muy alarmantes, con presencia de *variedad de virus y bacterias peligrosas, incluidos VIH, hepatitis B y C, Salmonella, Vibrio, Streptococcus, Listeria y tuberculosis*. El informe también cita niveles de cepas de bacterias *E. coli* y *Legionella* resistentes a los antibióticos encontrados en el agua contaminada, “que son un considerable problema de salud pública”. En conclusión, la exposición de estas aguas contaminadas en los seres humanos de la zona puede afectar directamente a la salud pública (La Opinión, 2024).

El Amazonas es una fuente vital amenazada, es el río más caudaloso y extenso del mundo. Aunque nace en Perú y pasa por Colombia, su recorrido es relevante en la Amazonía brasileña donde es fuente de vida esencial. Contaminación por mercurio en el Amazonas, por causa de la minería ilegal es la preocupación más relevante en la cuenca en mención en la actualidad según el biólogo y profesor de la Universidad Federal de Río de Janeiro (UFRJ), Rodrigo Leão de Moura, incluso podría *ocasionar malformaciones en fetos, problemática para los propios mineros porque el vapor del mercurio que es altamente tóxico* (Contaminación y minería ilegal amenazan ríos latinoamericanos, 2023).

Contaminación del río Matanza Riachuelo en Argentina, cuyas aguas desembocan en *el Río de la Plata, río más contaminado de Argentina*. Donde la causa más relevante es por los *efluentes cloacales y residuos sólidos urbanos e industriales* (Contaminación y minería ilegal amenazan ríos latinoamericanos, 2023).

Impacto socioeconómico y en las comunidades LATAM

En LATAM, se han identificado artículos relacionados con el ICARI en Colombia, extraído de un artículo del caso de estudio Santander Colombia. La ausencia de control para tratar las aguas residuales genera contaminación en estas que tienen impacto socioeconómico de la zona y en las comunidades de su entorno.

Del análisis de los datos en el Plan de Desarrollo del Municipio y visitas técnicas, se encontraron y se verificaron las actividades productoras de aguas residuales (AR) que va directo a la fuente hídrica y las principales actividades antrópicas generadoras de impactos son como las actividades de turismo y recreación, generación de aguas residuales de tipo domésticas, agricultura, avicultura, ganadería, crianza de cerdos, lavado de vehículos, palmicultura, remoción de la cobertura vegetal (Gallo et al., 2023).

Efectos en los ecosistemas acuáticos en Perú

En el Perú, se han identificado artículos relacionados con el ICARI, no es ajeno. La ausencia de controles para tratar el agua residual no evita contaminar los ecosistemas acuáticos como en los ríos y lago Titicaca.

Un estudio realizado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en 129 de las 159 cuencas hídricas del país reveló que todos los ríos analizados presentan contaminación en diferentes áreas, con la presencia de coliformes termotolerantes (fecales) y metales pesados. La degradación de la calidad del agua, utilizada para consumo humano y para actividades agrícolas e industriales, se atribuye al vertido de aguas residuales y desechos sólidos de las comunidades cercanas a los ríos. Sin embargo, la situación es complicada, ya que la contaminación persiste. Según el Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales, elaborado recientemente por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (Sunass), de las 253 localidades atendidas por las entidades prestadoras de servicios de saneamiento (EPS), 89 no tienen un sistema de tratamiento de aguas residuales. En 2013, aproximadamente 298,000 metros cúbicos diarios de desagües de estas ciudades fueron vertidos directamente al mar, ríos, pampas o drenes. Durante una evaluación de campo, la Sunass identificó 204 plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en el país, de las cuales 172 están construidas, 19 están en proceso de construcción y 13 tienen su construcción paralizada por más de un año. Según el científico peruano Marino Morikawa, quien tiene un doctorado en el área ambiental, las PTAR en el país no están cumpliendo adecuadamente su función (Comercio, 2016). El calentamiento global y la contaminación amenazan con convertir en una cloaca al Titicaca, el lago navegable más alto del mundo que comparten Bolivia y Perú. Investigadores advierten que este cuerpo de agua se ha llenado de desechos domésticos e industriales, lo que ha propiciado la aparición de peligrosas microalgas. Los vecinos de la bahía de Coahana, la zona más contaminada del lado de Bolivia, mencionan que *el lago presenta habitualmente una enorme mancha oscura y un olor a huevo podrido* (Arriaza, 2023).

En el lado del Perú, la bahía de Puno está contaminada por la descarga de aguas servidas, mientras que el río Coati arrastra hasta el lago la basura que genera la ciudad de Juliaca. Por ello no se recomienda para el consumo humano, ya que ha provocado que peces endémicos estén en riesgo de desaparecer y dañe la flora acuática (Arriaza, 2023).

El investigador francés Xavier Lazzaro encabezó en el 2019 en la primera estación hidrometeorológica automática y autónoma del Titicaca, un observatorio

científico ambiental, la estación apoyada por imágenes satelitales evidencian en el 2021 el aumento del fenómeno denominado eutrofización, que es el enriquecimiento de nutrientes como el nitrógeno y fósforo que propician la floración de microalgas (Arriaza, 2023).

Efectos en la salud humana en Perú

En el Perú, se han identificado artículos relacionados con el ICARI y es preocupante la ausencia de control para tratar el agua residual, contaminando estas que tienen efectos en la salud humana como enfermedades en las personas como severos cuadros estomacales, diarreas, insuficiencia renal, que ponen en riesgo la vida de niños y adultos mayores.

El agua del río Chillón es cualquier cosa menos vida. Una fuente hídrica más importante de Lima desemboca en la playa Márquez (Callao), que deja es una mezcla de heces y residuos industriales, que a primera vista aterra, y cuando se le somete a un estudio científico, es aún peor. La zona, a pocos minutos del aeropuerto Jorge Chávez, en el límite entre Ventanilla y el Callao, colmada de casas y colegios, en donde uno abre sus puertas a niños que juegan en medio de la pestilencia. El Comercio, junto a científicos de la Universidad Peruana Cayetano Heredia (UPCH), estudió durante varias semanas el estado del agua del Chillón donde los resultados del análisis fueron 12 veces excedidos según los límites máximos permitidos para aguas recreacionales en los microbios *Escherichia coli*, coliformes totales que al tener contacto con las personas podrían generar enfermedades como infecciones estomacales y enfermedades en la piel. Y la autoridad. El Ministerio del Ambiente nos derivó a la Autoridad Nacional del Agua (ANA). Indicó por José Abasolo, que los vecinos habitan zonas aledañas a la ribera, ¿que deben estar desocupadas? y la falta de conciencia ambiental, los lleva a arrojar desechos. Raúl Zárate, jefe encargado de la Oficina de Áreas Protegidas y Medio Ambiente del Gobierno Regional del Callao, aseguró que invierten soles para la limpieza del cauce del Chillón y culpó a la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) Puente Piedra, que está colapsada en su capacidad. (El Comercio, 2020).

Impacto socioeconómico y en las comunidades Perú

En Perú, se han identificado artículos relacionados con el ICARI a lo largo de la cuenca del río Utcubamba es preocupante la ausencia de control para tratar aguas residuales que contamina las mismas y tienen impacto socioeconómico de la zona y en las comunidades de su entorno.

El aumento de la población a lo largo de la cuenca del río Utcubamba, no cuenta con un sistema de tratar aguas residuales, generando disminución de agua siendo amenaza directa de la salud pública, se realizaron análisis cuyos resultados obtenidos muestran que los principales parámetros con altas concentraciones de bacterias y de compuestos químicos, como nitritos, fosfatos y amonio. (Corroto et al., 2018).

NORMATIVA Y LEGISLACIÓN

La gestión adecuada de las aguas residuales industriales es fundamental para proteger la salud pública y el medio ambiente. En Perú, existe un marco legal y normativo sólido que regula la descarga de efluentes industriales, con el objetivo de prevenir y controlar la contaminación del agua.

Normativas nacionales en Perú

Se describen las leyes, reglamentos y estándares de calidad ambiental que establecen los requisitos para la gestión de aguas residuales industriales en el país.

- Ley N° 29337 - Ley de Recursos Hídricos: Esta ley, promulgada en el año 2009, establece los principios y lineamientos para la gestión integrada de los recursos hídricos en el Perú, incluyendo la prevención y control de la contaminación del agua. (Ley de Recursos Hídricos, 2017).
- Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos: Este reglamento, aprobado en el año 2010, detalla las disposiciones para el otorgamiento de licencias de uso de agua, la calidad del agua, el vertido de efluentes y la evaluación de impacto ambiental hídrico. (Ley de Recursos Hídricos, 2017).
- Normas de Calidad Ambiental (ECA) para Agua: Estos estándares, establecidos por el Ministerio del Ambiente, fijan los límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas residuales industriales para proteger la salud humana y el medio ambiente. (Normas de Calidad Ambiental, 2017).
- Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM: Este decreto supremo, aprobado en el año 2010, aprueba los Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos a cuerpos de recepción hídricos. (Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, 2010).

- Resolución Ministerial N° 035-2017-MINAM: Esta resolución ministerial, aprobada en el año 2017, aprueba el Manual de Procedimientos para la Evaluación de la Calidad del Agua para la Otorgamiento de Licencias de Uso de Agua. (Resolución Ministerial N° 035-2017-MINAM, 2017).

Normativas internacionales (EPA, UE, etc.)

Se mencionan los convenios y acuerdos internacionales a los que Perú se ha adherido, relacionados con la gestión del agua y el control de la contaminación.

- Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho Internacional de los Usos No Navegacionales de los Cursos de Agua Internacionales: Esta convención, adoptada en el año 1997, establece principios para la protección y uso compartido de los recursos hídricos transfronterizos, promoviendo la cooperación entre países para la gestión sostenible del agua. (Convención de las Naciones Unidas, 1997)
- Protocolo de Kyoto: Este protocolo, adoptado en el año 1997, es un acuerdo internacional complementario a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, que establece medidas para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, algunas de las cuales pueden afectar la calidad del agua. (Protocolo de Kyoto, 2017).
- Directiva Marco del Agua de la Unión Europea: Esta directiva, aprobada en el año 2000, establece un marco legal para la protección de las aguas en Europa, con principios y objetivos que pueden ser relevantes para la gestión de aguas residuales industriales en Perú, como la prevención de la contaminación y el uso sostenible del agua. (Directiva Marco del Agua de la Unión Europea, 2010).

Responsabilidades legales de las industrias

Se detallan las obligaciones que las industrias peruanas deben cumplir en materia de tratamiento, monitoreo, control y reporte de sus aguas residuales.

Las industrias en Perú tienen la responsabilidad legal de cumplir con las siguientes obligaciones:

- Obtener una licencia de uso de agua: Esta licencia, otorgada por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), especifica la cantidad y calidad del agua que la industria puede usar y descargar, asegurando un uso racional del recurso hídrico. Autoridad Nacional del Agua (<https://www.gob.pe/ana>).

- Tratar las aguas residuales antes de su descarga: Las industrias deben implementar sistemas de tratamiento de aguas residuales adecuados para eliminar contaminantes y cumplir con los estándares de calidad ambiental establecidos por la ley, protegiendo así los cuerpos de agua.
- Monitorear la calidad de las aguas residuales: Las industrias deben realizar un monitoreo regular de sus efluentes para verificar el cumplimiento de los estándares de calidad ambiental, asegurando la eficacia del tratamiento de aguas residuales.
- Informar a las autoridades ambientales: Las industrias deben presentar informes periódicos sobre su gestión de aguas residuales a las autoridades competentes, permitiendo un seguimiento y control adecuado de las actividades industriales.
- Implementar un plan de manejo de aguas residuales: Este plan, elaborado por la propia industria o por consultores especializados, debe describir las medidas que la industria tomará para prevenir y controlar la contaminación del agua.

Es importante destacar que el cumplimiento de la normativa y legislación vigente es crucial para las industrias en Perú, no solo para evitar sanciones legales, sino también para contribuir a la protección de los recursos hídricos y la construcción de un desarrollo sostenible.

Además de la normativa legal, se hace referencia a sitios web de entidades relevantes como la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y el Ministerio del Ambiente (MINAM), donde se puede encontrar información actualizada sobre la gestión de aguas residuales industriales en Perú.

TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

La gestión efectiva de las aguas residuales industriales (ARI) requiere la implementación de tecnologías de tratamiento adecuadas para eliminar los contaminantes presentes en estas aguas, la elección de la tecnología de tratamiento más adecuada para una ARI específica depende de diversos factores, como la naturaleza y concentración de los contaminantes, el volumen de agua residual, los requisitos de descarga y los recursos económicos disponibles.

En muchos casos, se utiliza una combinación de diferentes tecnologías de tratamiento para lograr una eliminación efectiva de los contaminantes. Por ejemplo, el tratamiento primario puede incluir sedimentación y filtración, mientras que el tratamiento secundario puede incluir procesos biológicos y químicos.

Wang, Hung & Shammas (2007), plantean tres preguntas importantes cuando se ha identificado un tipo particular de contaminación, “(1) ¿Qué tan grave es la contaminación? (2) ¿Está disponible la tecnología para reducirlo? y 3) ¿Justifican los costos de la reducción el grado de reducción logrado?”; también es importante destacar que la selección y el diseño de un sistema de tratamiento de ARI deben realizarse por profesionales especializados, quienes considerarán todos los factores relevantes para garantizar un tratamiento eficaz y sostenible.

A continuación, se describen algunos de los principales tipos de tratamiento:

Tratamientos físicos

Los tratamientos físicos separan los contaminantes sólidos y líquidos del agua sin alterar su composición química. Los métodos más comunes incluyen:

Sedimentación: Permite que los sólidos pesados se depositen en el fondo del agua por gravedad.

Flotación: Utiliza aire o burbujas para hacer que los sólidos ligeros floten en la superficie del agua.

Filtración: Elimina los sólidos suspendidos del agua haciéndola pasar a través de un material poroso, como arena o grava.

Tratamientos químicos

Los tratamientos químicos alteran la composición química del agua para eliminar o transformar los contaminantes. Los métodos más comunes incluyen:

Precipitación: Agrega productos químicos al agua para convertir los contaminantes solubles en sólidos insolubles que luego se pueden separar por sedimentación o filtración.

Neutralización: Ajusta el pH del agua para neutralizar ácidos o bases.

Oxidación: Destruye o convierte contaminantes orgánicos en compuestos menos dañinos mediante la adición de oxígeno o agentes oxidantes como el cloro o el ozono.

Tratamientos biológicos

Los tratamientos biológicos utilizan microorganismos para degradar los contaminantes orgánicos presentes en el agua. Los métodos más comunes incluyen:

Lagunas de estabilización: Son estanques poco profundos donde los microorganismos descomponen los contaminantes orgánicos de forma natural.

Reactores biológicos: Utilizan tanques o biorreactores para controlar las condiciones ambientales y optimizar la actividad de los microorganismos.

Dado que estamos ante una especialidad técnica relacionada en particular al tratamiento de las aguas residuales industriales, se presentan algunos ejemplos de tecnologías tomadas del Manual de Ingeniería Ambiental, indicando una breve descripción de estas:

- a) **Ozonización Presurizada:** El ozono y el oxígeno pueden oxidar muchos contaminantes en las aguas residuales y los biosólidos de lodos. El ozono es más potente que el oxígeno, pero debe generarse en el punto de uso porque es un material inestable. El ozono se ha utilizado para desinfectar el agua potable y también para el tratamiento de algunos residuos industriales especiales, en particular para la eliminación de cianuros y fenoles. Algunas ventajas inherentes al uso de esta tecnología son la reducción de DBO y DQO, reducción de olor, color, turbidez y tensioactivos, destrucción de organismos patógenos, el agua efluente tiene una alta concentración de oxígeno disuelto (OD). Una de las principales desventajas del uso de ozono en el tratamiento de residuos es su costo (Wang et al., 2007).
- b) **Procesos electroquímicos de tratamiento de aguas residuales:** La electrocoagulación utiliza la reacción electroquímica entre los electrodos y los contaminantes para eliminar partículas y mejorar la calidad del agua. El uso de la electricidad en el tratamiento del agua se propuso por primera vez en Inglaterra en 1889. Aunque inicialmente las tecnologías electroquímicas para el tratamiento de aguas no tuvieron una amplia aplicación debido a la inversión de capital y al alto costo de la electricidad, en las últimas décadas han recuperado importancia. Actualmente, empresas suministran instalaciones para la recuperación de metales, tratamiento de agua potable y aguas residuales de diversas industrias (Wang et al., 2007).
- c) **Tratamiento con Osmosis Inversa:** Es un método avanzado de purificación del agua que usa membranas semipermeables para eliminar impurezas, sales y

contaminantes; aplicando presión, el agua pasa a través de la membrana, que trabaja como barrera donde solo las moléculas de agua pura logran atravesar la membrana, eliminando una amplia variedad de contaminantes, como sales disueltas, bacterias, virus, compuestos orgánicos y partículas suspendidas. “Cuando dos soluciones acuosas (u otros solventes) están separadas por una membrana semipermeable, el agua fluirá desde el lado de baja concentración de soluto al lado de alta concentración de soluto. El flujo se detiene, o incluso se invierte, aplicando presión externa en el lado de mayor concentración”, “Los avances significativos en los materiales y tecnologías de membranas durante los últimos 20 años han mejorado en gran medida la rentabilidad y las capacidades de rendimiento de los procesos”. (Wang et al., 2007)

- d) Aireación de poros finos de agua y aguas residuales:** En las plantas de tratamiento de aguas residuales con lodos activados, el suministro de oxígeno para la aireación representa la mayor parte del consumo de energía. Este suministro de oxígeno puede llegar a ser entre el 50% y el 90% de las necesidades energéticas totales de una planta. Sin embargo, al reemplazar los sistemas de aireación menos eficientes por dispositivos de aireación de poros finos, es posible reducir hasta un 50% los costes energéticos asociados a la aireación. Esto ha llevado a periodos de amortización relativamente cortos, típicamente de 2 a 6 años. (Wang et al., 2007)

CASOS DE ESTUDIO

Ejemplos exitosos de gestión de aguas residuales en la industria:

La gestión efectiva de las aguas residuales industriales (ARI) es crucial para proteger tanto la salud humana como el medio ambiente. Existen numerosos casos de empresas que han implementado estrategias exitosas para gestionar las ARI, logrando reducir significativamente su impacto ambiental. A continuación, se destacan algunos ejemplos tanto a nivel internacional como en Perú.

Ejemplos Internacionales

Levi Strauss & Co.: La empresa textil estadounidense ha desarrollado un programa que ha permitido una reducción del 90% en el consumo de agua y del 80% en la descarga de contaminantes a través del tratamiento de ARI (O'Toole, 2020).

Estrategias clave:

- Utilización de tecnologías avanzadas para el uso eficiente del agua, incluyendo sistemas de reutilización y reducción de fugas
- Inversión en una planta de tratamiento de ARI de última generación que utiliza tecnología de membranas y procesos biológicos avanzados.
- Compromiso con la sostenibilidad ambiental y la responsabilidad social corporativa.

3M Company: La empresa multinacional con sede en Minnesota, Estados Unidos, ha desarrollado un sistema de tratamiento de ARI que utiliza membranas de ultrafiltración para eliminar contaminantes orgánicos y metales pesados. Este sistema ha permitido a la empresa reducir en un 95% la descarga de contaminantes (O'Toole, 2020).

Estrategias clave:

Desarrollo de tecnología innovadora de tratamiento de ARI basada en membranas de ultrafiltración.

Implementación del sistema de tratamiento en sus plantas de producción alrededor del mundo.

Monitoreo continuo del desempeño del sistema y realización de mejoras continuas.

Coca-Cola Company: La empresa multinacional de bebidas con sede en Atlanta, Georgia, Estados Unidos, ha implementado un programa de reutilización de agua en sus plantas de producción. Este programa ha permitido a la empresa reducir en un 30% su consumo de agua fresca (O'Toole, 2020).

Estrategias clave:

- Implementación de sistemas de tratamiento de agua que permiten reutilizar el agua para diversos procesos industriales.
- Construcción de infraestructura para el almacenamiento y distribución de agua reutilizada.
- Capacitación y sensibilización a los empleados sobre la importancia de la reutilización del agua.

Casos en Perú

Planta de Tratamiento de Agua Residual Taboada: Esta planta, ubicada en Lima, Perú, trata las aguas residuales de una zona industrial y residencial que comprende a más de 2 millones de personas. La planta utiliza tecnología de tratamiento biológico de última generación y cumple con los estándares de calidad ambiental más exigentes (O'Toole, 2020).

Estrategias clave:

- Implementación de tecnología de tratamiento biológico de alta eficiencia que elimina contaminantes orgánicos, nutrientes y sólidos suspendidos.
- Monitoreo continuo de la calidad del agua residual tratada y cumplimiento de los estándares ambientales.
- Participación con la comunidad local para garantizar la aceptación y el apoyo al proyecto.

Proyecto Huascacocha: Este proyecto, ubicado en la región Junín, Perú, trata las aguas residuales de la ciudad de Huancayo y las aguas ácidas provenientes de la actividad minera. El proyecto utiliza una combinación de tecnologías de tratamiento biológico y fisicoquímico para eliminar una amplia gama de contaminantes (ProInversión, 2023).

Estrategias clave:

- Combinación de tecnologías de tratamiento biológico y fisicoquímico para una eliminación eficiente de contaminantes.

- Capacitación y asistencia técnica a los operadores de la planta para garantizar un funcionamiento eficiente.

Planta de Tratamiento de Aguas Residuales La Chira:

Estrategias clave:

- Implementación de un sistema de seguimiento y control ambiental para garantizar el cumplimiento de las regulaciones ambientales.
- Desarrollo de programas de educación ambiental para sensibilizar a la comunidad sobre la importancia del tratamiento de las aguas residuales.

Factores que contribuyen al éxito de estos casos:

- **Compromiso de la alta dirección:** El compromiso de la alta dirección de las empresas con la gestión sostenible del agua es fundamental para el éxito de cualquier programa de gestión de ARI.
- **Implementación de un sistema de gestión ambiental:** La implementación de un sistema de gestión ambiental, como ISO 14001, puede ayudar a las empresas a identificar, evaluar y controlar sus impactos ambientales, incluyendo los relacionados con las ARI.
- **Inversión en tecnología de tratamiento:** La inversión en tecnología de tratamiento de ARI eficiente y efectiva es crucial para reducir la descarga de contaminantes al medio ambiente.
- **Eficiencia en el uso del agua:** Implementar medidas para mejorar la eficiencia en el uso del agua, como reducir fugas, reutilizar el agua y usar tecnologías de bajo consumo, puede ayudar a las empresas a reducir el número de ARI que generan.
- **Cooperación con stakeholders:** La colaboración con stakeholders externos, como las autoridades ambientales, las comunidades locales y las organizaciones no gubernamentales, puede ser beneficiosa para el éxito de un programa de gestión de ARI.

Lecciones aprendidas de estos casos exitosos:

- La gestión de las ARI es un proceso continuo que requiere un compromiso constante de la empresa.
- Es importante establecer objetivos ambiciosos pero alcanzables para la gestión de las ARI.

- La comunicación y la participación de los empleados son esenciales para el éxito de cualquier programa de gestión de ARI.
- Es importante monitorear y evaluar el desempeño del programa de gestión de ARI para realizar los ajustes necesarios.

Casos de fracaso y lecciones aprendidas en el tratamiento de aguas residuales industriales: Casos Internacionales y en Perú

Aunque existen muchos ejemplos de éxito en el tratamiento de aguas residuales industriales (ARI), las empresas han fallado en el control y tratamiento adecuado de sus aguas residuales, generando graves impactos ambientales y económicos. A continuación, se presentan algunos casos destacados a nivel internacional y en Perú, junto con las lecciones aprendidas que se pueden extraer de ellos.

Casos Internacionales

Desastre de Bhopal: En 1984, una fuga de gas tóxico en una planta de productos químicos en Bhopal, India, provocó la muerte de más de 5.000 personas y la contaminación de las aguas subterráneas de la región (O'Toole, 2020).

Factores que contribuyeron al fracaso:

- Falta de mantenimiento adecuado de las instalaciones de la planta.
- Debilidad en los procedimientos de seguridad y protocolos de emergencia.
- Falta de transparencia e información a la comunidad sobre los riesgos potenciales.

Lecciones aprendidas:

- La seguridad industrial y la gestión de riesgos deben ser prioridades absolutas para las empresas.
- Es fundamental contar con planes de emergencia y protocolos de comunicación efectivos en caso de accidentes.
- La transparencia y la participación de la comunidad son esenciales para construir confianza y prevenir futuros desastres.

Derrame de petróleo de Deepwater Horizon: En 2010, una explosión en una plataforma petrolera en el Golfo de México provocó el mayor derrame de petróleo de la historia de los Estados Unidos, contaminando una vasta extensión de agua marina y causando daños ecológicos y económicos considerables (O'Toole, 2020).

Factores que contribuyeron al fracaso:

- Fallas en los sistemas de seguridad de la plataforma petrolera.
- Errores humanos en la toma de decisiones durante la emergencia.
- Falta de preparación y respuesta inadecuada ante el derrame.

Lecciones aprendidas:

- La industria petrolera debe invertir en tecnología de seguridad y prevención de accidentes más robusta.
- Es fundamental contar con planes de respuesta a emergencias bien definidos y capacitados.
- La colaboración entre empresas, autoridades y expertos es crucial para mitigar los impactos de grandes derrames.

Casos en Perú

Caso Doe Run: La empresa minera Doe Run contaminó durante décadas el río Mantaro y la ciudad de Huancayo con plomo y otros metales pesados, causando graves daños a la salud de la población y al medio ambiente (Avilés y Castro, 2022).

Factores que contribuyeron al fracaso:

- Falta de control ambiental efectivo por parte de la empresa y las autoridades.
- Descarga ilegal de aguas residuales sin tratamiento adecuado.
- Débil marco legal y regulatorio para la gestión ambiental en la industria minera.

Lecciones aprendidas:

- El Estado debe fortalecer las instituciones ambientales y garantizar el cumplimiento de las regulaciones ambientales por parte de las empresas.
- Es fundamental la participación activa de la comunidad en la vigilancia ambiental y la toma de decisiones.

- Las empresas deben adoptar prácticas de minería responsable y comprometerse con la protección del medio ambiente y la salud pública.

Caso Repsol: En 2016, un derrame de petróleo de la empresa Repsol contaminó las playas de Ventanilla y Ancón, afectando la flora y fauna marina y generando un impacto económico significativo en la región (Avilés y Castro, 2022).

Factores que contribuyeron al fracaso:

- Fallas en la operación de descarga de petróleo durante la transferencia desde un buque a la refinería.
- Falta de un plan de contingencia adecuado para responder al derrame.
- Comunicación deficiente y falta de transparencia por parte de la empresa.

Lecciones aprendidas:

Las empresas deben implementar planes de contingencia robustos para prevenir y responder a derrames de hidrocarburos.

La comunicación transparente y oportuna con las autoridades y la comunidad es crucial para gestionar la crisis de manera efectiva.

Es necesario fortalecer las medidas de control y prevención para evitar futuros derrames.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Reflexiones finales y perspectivas futuras

El tratamiento adecuado de las aguas residuales industriales es un desafío importante que requiere un enfoque integral y colaborativo entre la industria, el gobierno y la sociedad civil.

Avances:

En los últimos años, se han logrado avances significativos en el desarrollo de tecnologías de tratamiento de aguas residuales y en la implementación de políticas públicas para controlar la contaminación industrial.

Desafíos:

Sin embargo, aún queda mucho por hacer. La creciente industrialización y la generación de nuevos contaminantes plantean nuevos retos para la gestión de las aguas residuales.

Perspectivas:

Es necesario continuar investigando y desarrollando nuevas tecnologías de tratamiento, fortalecer la capacidad de las autoridades ambientales, promover la educación ambiental y fomentar la responsabilidad social de las empresas.

Recomendaciones para la industria y la política pública

Para la industria:

- Implementar sistemas de tratamiento de aguas residuales adecuados y efectivos.
- Adoptar prácticas de producción más limpias para minimizar la producción de contaminantes.
- Invertir en investigación y desarrollo de nuevas tecnologías de tratamiento.
- Cumplir con las normas ambientales y colaborar con las autoridades.
- Comunicar de manera transparente sus acciones ambientales a la comunidad.

Para la política pública:

- Fortalecer las normas ambientales y establecer límites más estrictos para la descarga de contaminantes.

- Invertir en infraestructura para el tratamiento de aguas residuales.
- Brindar incentivos a las empresas que adoptan prácticas sostenibles.
- Mejorar la capacidad de las autoridades ambientales para el monitoreo y control del cumplimiento.
- Promover la investigación y el desarrollo de tecnologías de tratamiento.
- Promocionar la educación ambiental y motivar a la ciudadanía su participación en la toma de decisiones

En conjunto, la industria y el gobierno pueden trabajar juntos para proteger los recursos hídricos y garantizar un futuro sostenible para las generaciones venideras.

REFERENCIAS

- Ahmed, W., et al. (2021). *Detection of enteric viruses in wastewater and their public health implications*. **Journal of Applied Microbiology**, 131(1), 62-75.
- ANDI (1997). *Manual de caracterización de aguas residuales industriales*. 2da Ed., Medellín – Colombia. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/slideshow/manual-de-caracterizacion-de-aguas-residuales-industriales/196163256>
- Arriaza, M. (2023, Sep 11). *El riesgo de que el lago navegable más alto del mundo se convierta en una cloaca*. EL PAÍS (America Edition). Recuperado de: <https://www.proquest.com/newspapers/el-riesgo-de-que-lago-navegable-más-alto-del/docview/2864093509/se-2>
- Autoridad Nacional del Agua. (s.f.). Recuperado de: <https://www.gob.pe/ana>
- Avilés, L. y Castro, H (2022). *Análisis de la eficacia en las funciones de fiscalización ambiental del OEFA para prevenir derrames de petróleo: caso REPSOL 2022*.
- Bhagwat, A., et al. (2023). *Bacterial pathogens in wastewater and their health implications*. **Journal of Environmental Management**, 307, 114493.

- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2010). *Estadísticas del Agua en México*. Edición 2010. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/259371/_2010_EAM2010.pdf
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2016). *Estadísticas del Agua en México*. Edición 2016. Recuperado de: https://www.agua.unam.mx/assets/pdfs/novedades/EstadisticasdelAguaMexico2016_CONAGUA.pdf
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2015). *Guía de políticas públicas en el ámbito estatal en materia de agua potable y saneamiento*. Edición 2015. Recuperado de: https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/guia-politicas-publicas/files/assets/basic-html/index.html#1
- Contaminación y minería ilegal amenazan ríos latinoamericanos. (2023, Sep 25). La Patria <https://www.proquest.com/newspapers/contaminación-y-minería-ilegal-amenazan-ríos/docview/2869163720/se-2>
- Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho Internacional de los Usos No Navegacionales de los Cursos de Agua Internacionales. (1997). Recuperado de: https://legal.un.org/avl/pdf/ha/clnuiw/clnuiw_s.pdf
- Comercio, E. (2016/01/15/, 2016 Jan 15). *Más de cien cuencas hídricas están contaminadas con coliformes o metales*. El Comercio <https://www.proquest.com/newspapers/más-de-cien-cuencas-hídricas-están-contaminadas/docview/1756912239/se-2>
- Corroto, F., Gamarra, O., y Barboza, E. (2018). *Evaluación multivariante de la calidad del agua en la cuenca del Utcubamba (Perú)*. [Multivariate Assessment of Water Quality in the Utcubamba Basin (Peru)] *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 9(5), 33-51,33A-51A. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-05-02>
- Chowdhury, S., et al. (2020). *Turbidity and its effects on water quality*. *Journal of Water and Health*, 18(1), 15-25.
- Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. (2010). Recuperado de: <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-003-2010-minam/>

- Directiva Marco del Agua de la Unión Europea. (2000). Recuperado de: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2000-82524>
- Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. (s.f.). Recuperado de: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/estandares-nacionales-calidad-ambiental-agua>
- El río Chillón, un gigantesco desagüe: *Alerta. Contaminación excede 12 veces los límites permisibles de bacterias. Planta de tratamiento de Sedapal vierte aguas residuales al río.* (2020/02/03/, 2020 Feb 03). *El Comercio* <https://www.proquest.com/newspapers/el-río-chillón-un-gigantesco-desagüe/docview/2350018844/se-2>
- Envira (15 de mayo de 2024). *Compuestos orgánicos volátiles COV, ¿Qué son y cómo monitorizarlos?*. <https://envira.es/por-que-importante-monitorizar-vocs-compuestos-organicos-volatiles/>
- Gallo, N., Dueñas, D., López, C. y Milena Urrea. (2023). *Impactos ambientales asociados al vertido de aguas residuales sobre corrientes hídricas. Caso de estudio Santander Colombia.* [Environmental impacts associated with the discharge of wastewater into water flows. Santander Colombia case study] Cuadernos Del CLAEH, 42(117), 51-64. <https://doi.org/10.29192/claeh.42.1.3>
- Gao, Y., et al. (2021). *Impact of suspended solids on aquatic ecosystems.* *Water Research*, 190, 116743.
- Hernández, I., Paternina, R., y Marrugo, J. (2020). *Contenido de metales pesados en sedimentos y peces provenientes de las ciénagas Marimonda y El Salado en Antioquia, Colombia.* [Content of Heavy Metals in Sediments and Fish from the Marimonda and El Salado Swamps in Antioquia, Colombia] *Gestión y Ambiente*, 23(2), 239-249. <https://doi.org/10.15446/ga.v23n2.81611>
- Hernández, A., Guzmán, X., García, R. y Guerrero, I. (2017). *Actividad enzimática de proteasas de Cyprinus carpio (Cypriniformes: Cyprinidae) extraídas de una laguna contaminada en México.* *Revista de Biología Tropical*, 65(2), 589-597. Recuperado de: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v65n2/0034-7744-rbt-65-02-00589.pdf>

- Hernández, A., Moreno, J. y Sandoval, L. (2017).** *Tratamiento de aguas residuales industriales en México: Una aproximación a su situación actual y retos por atender.* RINDERESU. vol. 2 (1-2): 75-88. Recuperado de: <http://www.rinderesu.com/index.php/rinderesu/article/view/27/33>
- Hernández, J. (2024/06/22/, 2024 Jun 22).** *Descargas de aguas residuales e industriales: principales amenazas del mar en Veracruz.* El Sol De Mexico <https://www.proquest.com/newspapers/descargas-de-aguas-residuales-e-industriales/docview/3071369764/se-2>
- Kumar, P., Sharma, A., y Reddy, A. S. (2019).** *Industrial wastewater treatment: Current technologies and future perspectives.* Journal of Environmental Management, 240, 50-62. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.064>
- La Opinión. (2024/02/20/, 2024 Feb 20).** *Millones de galones de aguas residuales tóxicas provocan crisis de salud pública en frontera entre EE.UU. y México.* La Opinión <https://www.proquest.com/newspapers/millones-de-galones-aguas-residuales-toxicas/docview/2928702883/se-2>
- Ley N° 29337 - Ley de Recursos Hídricos. (2009).** Recuperado de: <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-29338.pdf>
- Li, Y., et al. (2020).** *Endocrine-disrupting chemicals in industrial wastewater: Sources, impacts, and treatment strategies.* Journal of Hazardous Materials, 384, 121341.
- Li, W., Zhao, Y., & Wang, Y. (2020).** *Emerging contaminants in wastewater: A review of the literature from 2010 to 2020.* Water Research, 187, 116-117. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116117>
- Ministerio del Ambiente. (s.f.).** Recuperado de: <https://www.gob.pe/minam>
- O'Toole, G. (2020).** *Políticas del medio ambiente en América Latina y el Caribe: Introducción.* UNAM, Dirección General de Publicaciones y Fomento Editorial.

- ProInversión. (2023). *Proyecto Huascacocha*. <https://www.proinversion.gob.pe/>
- Protocolo de Kyoto. (1997). Recuperado de: https://unfccc.int/kyoto_protocol
- Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos. (2010). Recuperado de: <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-29338.pdf>
- Resolución Ministerial N° 035-2017-MINAM. (2017). Recuperado de: <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-003-2010-minam/>
- Robertson, L. J., et al. (2020). *Protozoan pathogens in wastewater: Challenges for water treatment*. *Trends in Parasitology*, 36(8), 694-703.
- Rodríguez, A., Letón, P., Rosal, R., Dorado, M., Villar, S. y Sanz, J. (2006). *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Informe de vigilancia tecnológica. VT2*. Recuperado de: <https://www.madrid.org/bvirtual/BVCM001696.pdf>
- Salgado, I., Cárcamo, H., Martínez, A., Carballo, M., Cruz, M. y Durán, M. (2011). *Efectos ambientales de contaminantes químicos en las aguas: Una propuesta biotecnológica para su eliminación*. *Revista Cubana de Química*. 18 (3), 87-95. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=443543724011>
- Smith, V., et al. (2019). *Eutrophication of lakes and rivers*. *Environmental Pollution*, 245, 1048-1060.
- Smith, V., & Schindler, D. (2021). *Eutrophication science: Where do we go from here?*. *Trends in Ecology & Evolution*, 36(8), 763-774. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2021.04.010>
- Wang, H., Yang, Y., y Zhao, X. (2023). *Advances in industrial wastewater treatment technologies: Moving towards a circular economy*. *Environmental Science & Technology*, 57(5), 2529-2540. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c08764>

Wang, L., Hung, Y., y Shammas, N. (2007). *Advanced Physicochemical Treatment Technology*. Humana Press Inc, **Handbook of Environmental Engineering (5)**.

Zheng, G., et al. (2019). *Toxicity and environmental risks of heavy metals in wastewater*. *Environmental Science and Pollution Research*, **26(1)**, 365-376.

Zheng, G., Hu, B., y Zhu, Y. (2022). Pathogenic microorganisms in wastewater: A comprehensive review of detection methods and occurrence. *Journal of Environmental Sciences*, 109, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2021.10.025>

Acerca de los autores

Oscar Rafael Tinoco Gómez

Nació en Huaraz, capital del departamento de Ancash, sus estudios primarios los realizó entre Huaraz y Lima, la secundaria en la Gran Unidad Escolar Ricardo Bentín, Lima, su formación profesional la realizó en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), donde se recibió como Ingeniero Industrial. Su grado de Doctor lo obtuvo en la Universidad Nacional Federico Villarreal, en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Actualmente es Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería Industrial de la UNMSM, docente Renacyt nivel VI y coordinador del Grupo de Investigación “Producción más limpia”.

Jorge Enrique Castillo Cueva

Doctorando en Ingeniería Industrial en UNMSM, Magister en Administración Estratégica de Negocios en CENTRUM, escuela de negocios de la Pontificia Universidad Católica del Perú, Ingeniero Industrial de la UNMSM, director de DASAMI Perú SAC, Catedrático universitario.

Schelah Nadia De la Colina Rivas

Doctorando en Ingeniería Industrial en UNMSM. Magister en Administración Estratégica de Empresas en CENTRUM. Especialista en Logística, Gestión de calidad e inocuidad de alimentos en empresas agroindustriales, exportadoras y retail. Consultor de empresas. Catedrático Universitario.

Miguel Angel Oruna Rodriguez

Magister en Administración de Empresas de la UPC. Ingeniero Industrial especializado en la optimización, control y seguimiento de procesos Administrativo, logísticos y de calidad. Profesional, Técnico en Computación e Informática; experiencia comprobada en administración de proyectos, desarrollo académico e investigación. Docente en las más reconocidas universidades e instituciones educativas del país en curso de pre y postgrado.

Alberto Rodríguez Palacios Miñano

Doctorando en Ingeniería Industrial, Magister Gestión y Restauración del Medio Natural de la UB. Coordinador Académico de la UPN, Consultor en Gestión Ambiental y Docente Universitario.

Aldo Guillermo Rivadaneira Cuya

Doctorando en Ingeniería Industrial, Magister en Administración de Empresas, Titulado en Ingeniería Industrial. Gerente Administrativo de LYM Asesoría y Turismo. Consultor de empresas manufactureras y de servicios. Docente Universitario.

Darwin Dean Duran Janampa

Nació en Huánuco en el año 1983. Ingeniero Industrial de profesión, Magister en ingeniería industrial por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, con estudios de doctorado en la UNMSM, especialización en ingeniería de proyectos, docencia superior y universitaria, estadística aplicada a la investigación científica, adscrito al Colegio de Ingenieros del Perú.

Percy Wenceslao Lature Bustamante

Doctorando en Ingeniería Industrial, Magister en Gestión Estratégica Empresarial, Ingeniero Mecánico de Fluidos, Especialista en Theory of Constraints. Jefe del Equipo Control y Reducción de Fugas (e), Consultor Interno TOC en SEDAPAL.

Alcides Guillermo Joo Aguayo

Docente Investigador, Ingeniero de Proyectos, Magister en Project Management, Doctorando en Ingeniería Industrial. Doctorando en Ingeniería Industrial, Magister en Project Management, Universidad Esan. Ingeniero Mecatrónico (UNI), docente nombrado facultad de Ingeniería Industrial (UNMSM), miembro del Grupo de Investigación Producción más limpia.

Augusto Denis Madueño Macedo

Nació en Lima en el año 1961. Ingeniero Industrial por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, doctorando en la misma especialidad por la UNMSM. Especialización en Informática e Ingeniería de Sistemas. Actualmente se desempeña como especialista en Innovación y Transferencia Tecnológica en el Instituto Tecnológico de la Producción, a la par que es docente en las áreas de pregrado y posgrado de la Facultad de Ingeniería Industrial de la UNMSM. Doctorando en Ingeniería Industrial, Magister en Educación, Ingeniero Industrial (UNMSM), miembro de la Red DOLAC - Red de Docentes de América Latina y del Caribe.

Eduardo Julian Villarroel Nuñez

Doctorando en Ingeniería Industrial, Magister en Administración Estratégica de Negocios, Ingeniero Industrial, Ingeniero Químico. Director Académico de Ingeniería UTP, Consultor Empresarial en Estrategia y Mejora continua. Docente Universitario.

Juan Enrique Sigarróstegui Gutiérrez

Ingeniero Industrial por la Universidad Ricardo Palma con Maestría en Administración de Negocios de la URP y Doctorando en Ing. Industrial en la Universidad Mayor de San Marcos – 3er ciclo; experiencia en el planeamiento, control, operación y gestión de procesos en las áreas de mantenimiento, logística y calidad.

Duilio Angel Aranda Ipince

Doctorando en Ingeniería Industrial, Magister en Administración Estratégica de Negocios. Director de AID Consulting, Agente Internacional de SEBRAE|PR en el Perú, Consultor de empresas y Docente Universitario.

Silvia Coronado Ramirez

Doctorando en Ingeniería Industrial, Ingeniero Industrial por la Universidad Nacional del Callao, Magister en Administración Estratégica de Negocios, Directora de Gestión Académica UTP. Docente universitario.

Luis Adrián González Quiñónez

Docente Investigador, Ingeniero de Mantenimiento, Máster en Sistemas de Gestión

Pedro Jesús De Bracamonte Morales

Ingeniero Industrial egresado de la Universidad Nacional de Trujillo, con Maestría en Gestión Pública otorgada por la Universidad San Martín de Porres USMP, y una segunda Maestría en Administración de Negocios MBA Executive en la Universidad César Vallejo UCV. Con 25 años de experiencia profesional y más de 10 años de labor docente.

Julio Douglas Vergara Trujillo

Ingeniero Industrial egresado de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, MBA en Administración de Negocios y Finanzas Internacionales (UCSS-Universidad de Génova)

Deina Candelaria Tinoco Orihuela

Ingeniera Metalurgista y de Materiales egresada de la Universidad Nacional del Centro del Perú (UNCP), con maestría en Seguridad y Salud en el Trabajo y una segunda maestría en Ingeniería Ambiental en la Universidad Nacional del Centro del Perú, con experiencia en el sector minero metalúrgico, industrial y docente en la Universidad Continental y Universidad Nacional del Centro del Perú.

ISBN: 978-612-03-0468-6

