ABORDAJE DE LA ENSEÑANZA PARA LA COMPRENSIÓN DE LAS SUSTANCIAS PER Y POLIFLUOROALQUILADAS DESDE UN AMBIENTE VIRTUAL DE APRENDIZAJE

NICOLÁS GUZMÁN RIVERO
PAULA ANDREA TEJADA RINCÓN

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
BOGOTÁ DC
2024

ABORDAJE DE LA ENSEÑANZA PARA LA COMPRENSIÓN DE LAS SUSTANCIAS PER Y POLIFLUOROALQUILADAS DESDE UN AMBIENTE VIRTUAL DE APRENDIZAJE

Presentado por
NICOLÁS GUZMÁN RIVERO
PAULA ANDREA TEJADA RINCÓN

Trabajo de grado para otorgar el título de licenciados en química

Dirigido por:
Dra. DORA LUZ GOMÉZ AGUILAR
Codirector
MSc NOHORA MARLEN ARIAS VARGAS

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
BOGOTÁ DC
2024

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, deseamos expresar nuestro más sincero agradecimiento a la Universidad Pedagógica Nacional por brindarnos la oportunidad de crecer personal y profesionalmente en su entorno académico y por permitirnos establecer vínculos significativos a lo largo del tiempo. Extendemos nuestros agradecimientos a la profesora Dora Luz Gómez por su notable paciencia y dedicación, no solo hacia nuestro desarrollo académico, sino también hacia el fortalecimiento de nuestra vocación profesional. Valoramos profundamente su constante apoyo, su optimismo infatigable y la confianza que depositó en nosotros, así como los momentos en los que su perspicacia nos facilitó la comprensión de conceptos aparentemente complejos, y sus aportaciones que contribuyeron a ampliar nuestra perspectiva. Por último, deseamos expresar nuestra gratitud hacia las profesoras Lina y Liliana, cuyo estímulo y exigencia han sido fundamentales para el desarrollo de nuestro proyecto.

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento en primer lugar, a mi hija, Victoria, por su paciencia, comprensión y amor incondicional que han sido mi faro en la oscuridad, en los momentos de duda y desánimo, su sonrisa y sus abrazos sinceros me recordaban que todo valía la pena. Su fe en mí ha sido mi mayor motivación, impulsándome a seguir adelante incluso cuando las fuerzas fragmentaban. Eres parte integral de este sueño hecho realidad, este logro es tuyo también. Agradezco a mis queridos padres, mi fuente inagotable de amor y apoyo, agradezco infinitamente los sacrificios que han hecho por mí, gracias por creer en mí, por confiar en mis capacidades y por enseñarme que con trabajo duro y perseverancia todo es posible, los amo profundamente. Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis amados abuelos, cuya sabiduría y cariño han sido una fuente de inspiración constante, a mis hermanos por su apoyo y constante aliento a lo largo de este proceso. Finalmente agradezco a mis amigos y colegas, quienes con su compañía y colaboración han enriquecido esta experiencia, haciendo de cada desafío una oportunidad de crecimiento y aprendizaje.

Paula Tejada

Quisiera expresar mi profundo agradecimiento, en primer lugar, a mis padres, quienes han sido la piedra angular de mi vida y me han proporcionado todo lo necesario para alcanzar mis metas. Su incondicional apoyo ha sido fundamental en mi trayectoria, y sin ellos no estaría donde me encuentro en este preciso momento. Han sido ejemplos de perseverancia y me han enseñado la importancia de luchar incansablemente por mis objetivos, aun cuando el camino para alcanzarlos sea arduo. Asimismo, deseo expresar mi más sincero agradecimiento a Paula, cuya amistad sincera y apoyo inquebrantable han sido un pilar fundamental durante mi recorrido universitario. Su particular manera de inspirarme y motivarme ha sido invaluable, y confío en que continuará siéndolo en los años venideros. También quiero reconocer el apoyo brindado por Juli Pulido, Juli García, Natalia López y Sofí Caicedo, quienes estuvieron a mi lado cuando más lo necesitaba y siempre han mostrado orgullo por mis logros profesionales. Por ultimo y no menos importante, agradezco a Santi quien, aunque ya no está siempre confió en que lograría llegar a este momento.

Nicolás Guzmán

Nota de aceptación

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C, Mayo de 2024

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN 1

JUSTIFICACIÓN 2

ANTECEDENTES 3

- **Enseñanza para la compresión (EpC)** 3
- **Ambiente virtual de aprendizaje (AVA)** 4
- **Sustancias per y polifluoroalquiladas (PFAS)** 6

DESCRIPCIÓN Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 8

- **Planteamiento del problema** 8

OBJETIVOS 9

- **Objetivo General** 9
- **Objetivos Específicos** 9

REFERENTES CONCEPTUALES 9

- **Enseñanza para la compresión (EpC)** 9
  - **Tópicos Generativos** 11
  - **Metas De Comprensión** 11
  - **Desempeños para la comprensión** 12
  - ***Evaluación Diagnóstica Continua*** 13
- **Ambiente Virtual de Aprendizaje (AVA)** 13
- **Sustancias Perfluoroalquiladas y Polifluoroalquiladas (PFA's)** 16
- **Propiedades Físicas y químicas** 18
  - **Propiedades Físicas** 19
  - **Estado Físico y/o Apariencia** 19
  - **Densidad** 19
  - **Puntos de Fusión y Ebullición** 20
  - **Solubilidad** 20
- **Propiedades Químicas** 20
  - **Propiedades del enlace Carbono-Flúor** 20
  - **Propiedades de grupo funcional** 22
- **Métodos de Cuantificación de PFA's** 23

METODOLOGÍA 23

- **Población** 23

Enfoque y tipología de la investigación 24
Fases de Investigación 25
Fase I: Diagnóstico 26
Fase II. Estructuración del Ambiente Virtual de Aprendizaje 26
Fase III. Prueba Piloto del Ambiente Virtual de Aprendizaje 28
ANÁLISIS DE RESULTADOS 29
Fase 1. Diagnóstico 29
Resultados de la encuesta diagnostico relacionado a las PFAS 29
Metodología ADDIE 39
Fase III. Prueba Piloto del Ambiente Virtual de Aprendizaje 50
CONCLUSIONES 67
RECOMENDACIONES 69
REFERENCIAS 70
ANEXOS 74

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. PROPIEDADES DEL FLÚOR 21
TABLA 2. CLASIFICACIONES BASADAS EN GRUPOS FUNCIONALES 22
TABLA 3. MÉTODOS DE CUANTIFICACIÓN DE PFAS EN MATICES DE AGUA 23
TABLA 4. ROLES ASIGNADOS PARA ESTUDIANTES Y ADMINISTRADORES 45
TABLA 5. OBJETIVOS ALCANZADOS PARA LA FASE DE ANÁLISIS Y DISEÑO DEL AVA..... 47
TABLA 6. OBJETIVOS ALCANZADOS PARA LA FASE DE DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DEL AVA..... 48
TABLA 7. PRUEBA DIAGNÓSTICA 74
TABLA 8. INSTRUMENTO PARA VALIDACIÓN DE PARES ACADÉMICOS I..... 83
TABLA 9. INSTRUMENTO PARA VALIDACIÓN DE PARES ACADÉMICOS II..... 86
TABLA 10. PRUEBA DE SALIDA 90
TABLA 11. CODIFICACIÓN PFAS 91
TABLA 12. CODIFICACIÓN AVA..... 93

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. MARCO CONCEPTUAL DE LA EPC. 10
FIGURA 2. COMPONENTE PARA EL MODELAMIENTO DE UN AVA..... 15
FIGURA 3. ÁRBOL GENEALÓGICO DE LAS PFAS..... 18
FIGURA 4. ESQUEMA GRÁFICO DE LA METODOLOGÍA ADDIE..... 26
FIGURA 5. ESTRUCTURA AVA..... 28
FIGURA 6. INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO 31
FIGURA 7. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE PFAS..... 34
FIGURA 8. DISTRIBUCIÓN Y USOS DE LOS PFAS 36
FIGURA 9. IMPACTO AMBIENTAL Y EN LA SALUD HUMANA..... 38
FIGURA 10. PÁGINA PRINCIPAL DEL AVA 41
FIGURA 11. RESULTADOS DE CATEGORÍA 1 INDICADOR DISEÑO Y ORGANIZACIÓN DEL AVA 42
FIGURA 12. SOPORTE TÉCNICO Y ACCESIBILIDAD..... 43
FIGURA 13. INDICADOR RELACIÓN CON LA TEMÁTICA CENTRAL..... 44
FIGURA 14. OPCIONES DE ACCESO OFRECIDAS POR WIX..... 46
FIGURA 15. NUBE DE PALABRAS ACTIVIDAD NÚMERO 1 51
FIGURA 16. DIAGRAMA SANKEY ACTIVIDAD NÚMERO 1 EN RELACIÓN CON LOS PFAS ... 51
FIGURA 17. NUBE DE PALABRAS ACTIVIDAD NÚMERO 2 53
FIGURA 18. DIAGRAMA SANKEY ACTIVIDAD NÚMERO 2 EN RELACIÓN CON LOS PFAS ... 54
FIGURA 19. NUBE DE PALABRAS MODULO 1 56
FIGURA 20. DIAGRAMA SANKEY MODULO 1 56
FIGURA 21. NUBE DE PALABRAS MODULO 2 59
FIGURA 22. DIAGRAMA SANKEY MODULO 2 59
FIGURA 23. NUBE DE PALABRAS MODULO 3 61
FIGURA 24. DIAGRAMA SANKEY MODULO 3 61
FIGURA 25. NUBE DE PALABRAS MODULO 4 63
FIGURA 26. DIAGRAMA SANKEY MODULO 4 63
FIGURA 27. NUBE DE PALABRAS AVA 65
FIGURA 28. DIAGRAMA SANKEY AVA 65
FIGURA 29. PÁGINA DE INICIO AVA..... 76

Figura 30. Módulo 1 AVA..... 76
Figura 31. Módulo 1 AVA Sección Historia PFAS..... 77
Figura 32. Módulo 1 AVA Sección Usos PFAS..... 77
Figura 33. Módulo 1 AVA Sección Clasificación PFAS 78
Figura 34. Módulo 1 AVA Sección Propiedades físico-químicas PFAS 78
Figura 35. Modulo 2 AVA..... 79
Figura 36. Módulo 2 AVA Sección Consecuencias Ambiéntales PFAS 79
Figura 37. Módulo 2 AVA Sección Afecciones PFAS..... 80
Figura 38. Módulo 3 AVA..... 80
Figura 39. Módulo 4 AVA..... 81
Figura 40. Enlaces de Interés AVA..... 81
Figura 41. Evidencias Actividad Número 1..... 89
Figura 42. Evidencias Actividad Número 2..... 89

LISTA DE ANEXOS

ANEXÓ 1. INSTRUMENTO INICIAL 74
ANEXÓ 2. AMBIENTE VIRTUAL DE APRENDIZAJE 75
ANEXÓ 3. VALIDACIÓN PAR ACADÉMICO 1 81
ANEXÓ 4. VALIDACIÓN PAR ACADÉMICO II 85
ANEXÓ 5. ACTIVIDAD NÚMERO 1 88
ANEXÓ 6. ACTIVIDAD NÚMERO 2 89
ANEXÓ 7. INSTRUMENTO FINAL 90
ANEXÓ 8. BASE PARA LA CODIFICACIÓN CON RELACIÓN A LOS PFAS 91
ANEXÓ 9. BASE PARA LA CODIFICACIÓN EN RELACIÓN CON EL AVA 93

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se realizó bajo el grupo de investigación *didáctica y sus ciencias*, en la línea de investigación *incorporación en la educación ambiental al currículo de ciencias* con el fin de dar a conocer y fomentar futuras investigaciones en torno a las sustancias perfluoroalquiladas y polifluoroalquiladas (PFA's), teniendo en cuenta lo anterior, se diseñará e implementará de un ambiente virtual de aprendizaje (AVA) el cual está soportado por el modelo de la enseñanza para la comprensión (EpC) con el tópico generativo *Las sustancias per y polifluoroalquiladas (PFA's) abordadas desde su impacto en matrices de agua, para comprender sus efectos en el medio ambiente y la salud humana*.

De acuerdo con lo anterior, los AVA ofrecen un entorno flexible y accesible para la enseñanza y comprensión de las PFA's ya que le permite al estudiante aprender a su propio ritmo y desde cualquier lugar. Así mismo el enfoque de enseñanza para la comprensión se caracteriza en el aprendizaje activo y colaborativo, utilizando recursos y actividades que involucren al estudiante al proceso de aprendizaje.

Es importante enseñar sobre las sustancias PFA's porque son perjudiciales para la salud humana y pueden acumularse en el cuerpo y el medio ambiente al ingerirlas o absorberlas de alguna otra manera. Además, estas sustancias químicas son ampliamente utilizadas en la industria y los productos de consumo, por lo que es importante que los estudiantes aprendan sobre ellas y cómo evitar la exposición a través de la elección de alimentos y productos de consumo seguros. La enseñanza sobre las sustancias PFA's en este trabajo tiene como objetivo fomentar futuras investigaciones en relación con la temática en espacios de química orgánica de educación superior y su impacto ambiental.

JUSTIFICACIÓN

El abordaje de enseñanza para la comprensión e implementación de un Ambiente Virtual de Aprendizaje (AVA) resulta fundamental para abordar la complejidad de las sustancias per y polifluoroalquiladas (PFAS). Esta extensa familia de compuestos ha emergido desde finales de la década de los años 40, con más de 4.000 compuestos asociados, empleados en una amplia gama de aplicaciones industriales, dispositivos médicos, producción de petróleo, minería, pesticidas e industria textil, entre otros.

A nivel internacional, la inclusión de estas sustancias en los anexos del Convenio de Estocolmo, a partir del año 2009, resalta la gravedad de su impacto en la salud humana y el medio ambiente, lo que demanda medidas urgentes para controlar su producción, uso y exposición, así como la adopción de regulaciones más estrictas a nivel nacional.

El AVA ofrece una herramienta poderosa para abordar esta compleja temática, permitiendo a los estudiantes del seminario de sistemas orgánicos II del programa de Licenciatura química de la Universidad Pedagógica Nacional interactuar con contenido específico, comprender el impacto de los PFA's y reflexionar sobre su aplicación en diferentes contextos industriales y ambientales. Además, brinda la oportunidad de explorar, simular escenarios reales y colaborar en actividades teórico-prácticas, fomentando así un aprendizaje significativo, crítico y autónomo sobre este tema tan relevante.

En el contexto colombiano, donde existe una deficiencia en la regulación de los PFAS, la implementación de un AVA puede ser una estrategia clave para sensibilizar a los estudiantes y futuros profesionales sobre la importancia de gestionar adecuadamente estas sustancias y contribuir a su manejo responsable en el país.

ANTECEDENTES

Para el desarrollo de la investigación se recopilaron documentos que ayudaron a proporcionar un contexto y la identificación del estado actual de la temática garantizando que la investigación sea significativa y los resultados sean útiles.

Enseñanza para la compresión (EpC)

En su estudio del equilibrio químico en reacciones ácido-base, realizado en la Universidad Pedagógica Nacional Aguirre Marín (2018) presenta una estrategia didáctica basada en la enseñanza para la comprensión (EpC), propuesta por Clavel & Torres en 2010. Esta metodología integra la práctica de laboratorio, la redacción de artículos científicos y la modelización matemática, brindando un enfoque estructurado para los docentes. Dango un gran aporte a la investigación en relación con la EpC y sus componentes de tópicos generativos, metas de comprensión y desempeños, facilita la evaluación del progreso estudiantil. En un tema complejo como el equilibrio químico, la EpC actúa como guía, clarificando conceptos y ofreciendo una estructura para la enseñanza adaptativa y efectiva. La implementación de pruebas de identificación de comprensión, validadas por expertos, es esencial para evaluar el nivel de entendimiento y adaptar la enseñanza a las necesidades individuales de los estudiantes. Los niveles de comprensión establecidos por la EpC, desde ingenuo hasta maestro, sirven como hitos para el progreso estudiantil y como puntos de referencia para los docentes.

La tesis de Cárdenas Suarez (2014) en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales resalta el valor de la Enseñanza para la Comprensión (EpC) al emplear herramientas tecnológicas para enseñar sobre neurotransmisores y su función en el cuerpo humano y las emociones. Su investigación proporciona evidencia concreta de cómo el enfoque de la EpC promueve un aprendizaje significativo, donde los estudiantes no solo adquieren conocimientos, sino que también desarrollan habilidades cognitivas y se comprometen activamente en su proceso de aprendizaje. El uso de tecnologías de la información y comunicación (TIC) enriquece esta experiencia al ofrecer estrategias de aprendizaje más atractivas y relevantes

para los estudiantes, alineadas con el contexto actual en el que se desenvuelven. Este trabajo aporta la importancia de combinar metodologías pedagógicas efectivas con herramientas tecnológicas para potenciar el aprendizaje en el ámbito de las ciencias exactas y naturales.

Por otro lado, Cifuentes Garzón (2019) deja una evidencia de como la enseñanza para la comprensión les permite a los docentes repensar de manera consiente los diferentes contenidos, con el fin de convertirlos en verdaderos pretextos de aprendizaje que motiven a los estudiantes a generar la compresión de las temáticas que se proponen en el aula de clase. Gracias a la claridad del marco de la Enseñanza para la Comprensión (EpC), los docentes pueden generar sus propias definiciones de los componentes de este marco con facilidad. Lo anterior se evidencia en la *publicación aprendizaje del marco de la enseñanza para la comprensión en profesores: un abordaje desde las trayectorias de pensamiento* en la versión número 57 de la Revista Virtual Universidad Católica del Norte.

El análisis de Vázquez Recio (2011) sobre la enseñanza para la comprensión en la escuela rural de Bolonia, España, aporta a la investigación valiosas contribuciones al campo educativo. Destaca la cooperación, la actividad intelectual, la creatividad y la responsabilidad como pilares fundamentales de este enfoque, enfatizando la inclusión de todos los estudiantes y el uso diversificado de fuentes de información. Además, resalta una evaluación integral que considera el proceso y los agentes involucrados. Subraya la necesidad de actividades prácticas contextualizadas que movilicen los esquemas de pensamiento de los estudiantes. También destaca el cambio de rol del docente hacia un enfoque más orientador y mediador, promoviendo la interacción activa y colaborativa entre docentes y estudiantes para profundizar la comprensión de los contenidos educativos.

Ambiente virtual de aprendizaje (AVA)

Los Ambientes Virtuales de Aprendizaje (AVA) han evolucionado desde sistemas básicos de correo electrónico hacia plataformas sofisticadas de e-learning, transformando la educación al ofrecer oportunidades más interactivas y efectivas.

En el ámbito nacional de las ciencias naturales, los AVA han experimentado un notable desarrollo, especialmente con el avance de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC). Un estudio reciente de Pineda et al. (2022) propone un método sistemático para evaluar la calidad de los AVA en este campo, considerando aspectos como la coherencia del contenido, la accesibilidad y la actualización del material. Este destaca la importancia de no solo ver a los AVA como herramientas tecnológicas, sino también como facilitadores de aprendizaje significativo, adaptados a las necesidades y objetivos específicos de cada nivel educativo y las competencias a desarrollar en los estudiantes.

La investigación de Delgado Pasaje (2023) se centra en la interrelación entre técnica, práctica experimental y tecnología en los Ambientes Virtuales de Aprendizaje (AVA), con el propósito de ofrecer material de estudio para docentes de Ciencias Naturales y aquellos interesados en la convergencia entre AVA y ciencia. Define a los AVA como entornos en línea que actúan como comunidades inteligentes, complementando la educación presencial y facilitando la gestión del conocimiento. Aporta la importancia de considerar no solo la infraestructura digital de los AVA, sino también los agentes involucrados y sus interacciones, reconociendo su papel esencial en el proceso educativo.

Desde una perspectiva técnica y tecnológica, los AVA representan la intersección entre la tecnología y la ciencia, emergiendo de prácticas aplicadas en ambos campos. La introducción gradual de recursos digitales en la educación se ha debido a razones históricas y a la necesidad de adaptar la pedagogía a las nuevas herramientas. La práctica experimental juega un papel fundamental en la consolidación de los AVA, siendo esencial para su construcción. La enseñanza con tecnología se considera, en esencia, experimental y no requiere recursos sofisticados. Sin embargo, es crucial que la experimentación pedagógica sea intencionada y reflexiva, trascendiendo la mera repetición de procedimientos establecidos. La formación docente debe abordar esta práctica experimental con tecnología, promoviendo la construcción de conocimiento válido y relevante en contextos educativos específicos. Esto implica no solo adquirir conocimientos

tecnológicos, sino también reflexionar sobre su aplicación pedagógica. La colaboración entre docentes enriquece este proceso, facilitando la adaptación del conocimiento a diversos contextos educativos.

La investigación de Espinoza López (2023) destaca la introducción exitosa de un entorno virtual innovador mediante una metodología de investigación-acción, que integra la plataforma Moodle con la Planeación Didáctica Centrada en el Aprendizaje (PDCA) y considera los diversos estilos de aprendizaje de los estudiantes, junto con el uso de Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC). El estudio se enfocó en evaluar el impacto de este entorno virtual en el proceso de aprendizaje y la evaluación auténtica del cálculo diferencial en un centro educativo en México. Los resultados revelaron una recepción positiva del entorno virtual por parte de los estudiantes, reconociendo su utilidad para el aprendizaje, la evaluación auténtica y el fortalecimiento de habilidades cognitivas y comunicativas. Además, se observó un fomento de actitudes positivas, valores y reflexión emocional, promoviendo el aprendizaje colaborativo y la autonomía estudiantil.

Sustancias per y polifluoroalquiladas (PFAS)

El estudio de Ramírez Canon et al. (2022) sobre la presencia de sustancias perfluoroalquiladas y polifluoroalquiladas (PFAS) en el río Bogotá marca un hito importante en la investigación ambiental colombiana al proporcionar datos concretos sobre la concentración y distribución de estas sustancias en un cuerpo de agua crucial para la región. Identificaron la presencia de doce tipos de PFAS en el agua del río, destacando la ubicación cercana a distritos industriales y zonas densamente pobladas como puntos críticos de contaminación. Estos resultados aportan a la investigación la urgencia de abordar este problema ambiental y de salud pública en Colombia, especialmente considerando el uso del agua del río Bogotá para riego, y subrayan la necesidad de investigaciones más profundas para identificar las fuentes de contaminación y rastrear el flujo de PFAS una vez utilizada el agua del río.

El estudio de Marín Marín et al. (2023) resalta la importancia de investigar el impacto de los compuestos perfluoroalquilados y polifluoroalquiladas (PFAS) en la salud

humana y el medio ambiente. Se destaca el uso generalizado de estos compuestos en productos comerciales y su persistencia ambiental, representando una amenaza para los ecosistemas acuáticos y la salud pública. Para abordar este desafío, se han explorado los Procesos de Oxidación Avanzada (POA), identificándolos como una opción prometedora. Aunque se han encontrado varios POA efectivos en la degradación de PFAS, su implementación a gran escala se ve obstaculizada por altos costos. Se proponen soluciones como el uso de energías alternativas y la exploración de materias primas para fabricar materiales más económicos, aunque con preocupaciones sobre posibles efectos tóxicos. Se espera superar estas limitaciones en el futuro, generando un impacto positivo en la salud humana y el medio ambiente, aunque se reconoce la necesidad de seguir investigando y desarrollando nuevas tecnologías para garantizar la sostenibilidad a largo plazo en el tratamiento de PFAS.

El estudio de Leyva et al. (2021) resalta la creciente preocupación internacional por los contaminantes emergentes, con un enfoque particular en las sustancias perfluoroalquiladas polifluoroalquiladas (PFAS). Aunque se ha avanzado en comprender su origen y propiedades, persisten lagunas significativas en su impacto ambiental y en la salud humana, así como en las técnicas de detección y análisis. Las PFAS, ampliamente presentes en diversos sectores industriales y productos de consumo, se reconocen como contaminantes peligrosos con una distribución generalizada en el medio ambiente, especialmente en las aguas residuales. Para abordar estos desafíos, se subraya la necesidad de investigaciones exhaustivas que aborden múltiples dimensiones, desde la identificación de fuentes hasta la evaluación de su toxicidad. En el contexto mexicano, se destaca la importancia de identificar zonas de riesgo y aplicar medidas para mitigar la contaminación por PFAS, así como de aumentar la conciencia pública sobre alternativas más seguras y sostenibles, promoviendo la responsabilidad corporativa. Este estudio proporciona un antecedente crucial para comprender y abordar el impacto de las PFAS, estableciendo un marco para futuras investigaciones y políticas ambientales.

DESCRIPCIÓN Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Planteamiento del problema

El impacto de los Contaminantes Orgánicos Emergentes (COE’s) en los cuerpos de agua está intrínsecamente ligado a las acciones adoptadas. Si los COE's fomentan el empleo de tecnologías limpias y eficientes, y si coordinan sus esfuerzos con las autoridades ambientales, pueden contribuir significativamente a la disminución de la contaminación del agua y a la mejora en la gestión de los recursos hídricos. En los últimos años, la Química Ambiental ha mostrado un notable interés en el estudio de las sustancias Per y Polifluoroalquiladas (PFAS) y sus efectos en el medio ambiente, especialmente en las aguas superficiales, subterráneas y residuales, dada su capacidad para bioacumularse y biomagnificarse.

Esta relevancia se debe a que la estructura química de las PFAS le confiere resistencia a la degradación biológica, así como a su tamaño molecular reducido, que facilita su penetración en las membranas celulares. Además, su insolubilidad en agua, pero solubilidad en grasas propicia su acumulación en los tejidos grasos del cuerpo humano. A nivel global, la atención sobre el análisis de las PFAS ha aumentado debido a su presencia en productos cotidianos como cosméticos, espumas contra incendios, envases de alimentos, textiles y otros, así como a su relevancia en procesos químicos debido a su estabilidad térmica y química.

Sin embargo, la mayor preocupación radica en su presencia en el agua potable, lo que ha llevado a gobiernos de todo el mundo a trabajar en la reducción de su uso. Esta situación ha generado una creciente demanda de análisis de PFAS para evaluar la exposición a estos compuestos químicos.

En este contexto, se destaca la importancia de abordar la enseñanza para la comprensión de las PFAS desde un ambiente virtual de aprendizaje (AVA). El AVA emerge como una herramienta crucial para determinar el nivel de comprensión al que pueden llegar los estudiantes sobre el tema de las PFAS, así como para diseñar estrategias educativas efectivas que promuevan la conciencia ciudadana y la acción

responsable en relación con estas sustancias. Por lo tanto, la integración adecuada de la EpC en el entorno virtual de aprendizaje se convierte en un objetivo fundamental de esta investigación, con el fin de empoderar a los estudiantes para enfrentar los desafíos ambientales y de salud pública asociados con las PFAS.

Con base en lo anterior se plantea la siguiente pregunta de investigación ¿Cómo incide la implementación de un ambiente virtual de aprendizaje (AVA), como estrategia didáctica en la educación superior, para promover la comprensión de los conceptos científicos relacionados a los PFAS y sus impactos en el medio ambiente y la salud humana en estudiantes de la Licenciatura en Química de la Universidad Pedagógica Nacional?

OBJETIVOS

Objetivo General

Implementar un ambiente virtual de aprendizaje (AVA) en la enseñanza para la compresión de los perfluoroalquilados (PFAS) en matrices de aguas, que permita a estudiantes de educación superior comprender el impacto de estos contaminantes en el medio ambiente y la salud humana.

Objetivos Específicos

- Caracterizar las ideas previas de los estudiantes del seminario de sistemas orgánicos II de educación superior, con relación los PFAS.
- Diseñar un ambiente virtual de aprendizaje para la enseñanza de los PFAS bajo el modelo de la EPC.
- Evaluar la implementación del ambiente virtual de aprendizaje en relación con la enseñanza para la compresión de los PFAS

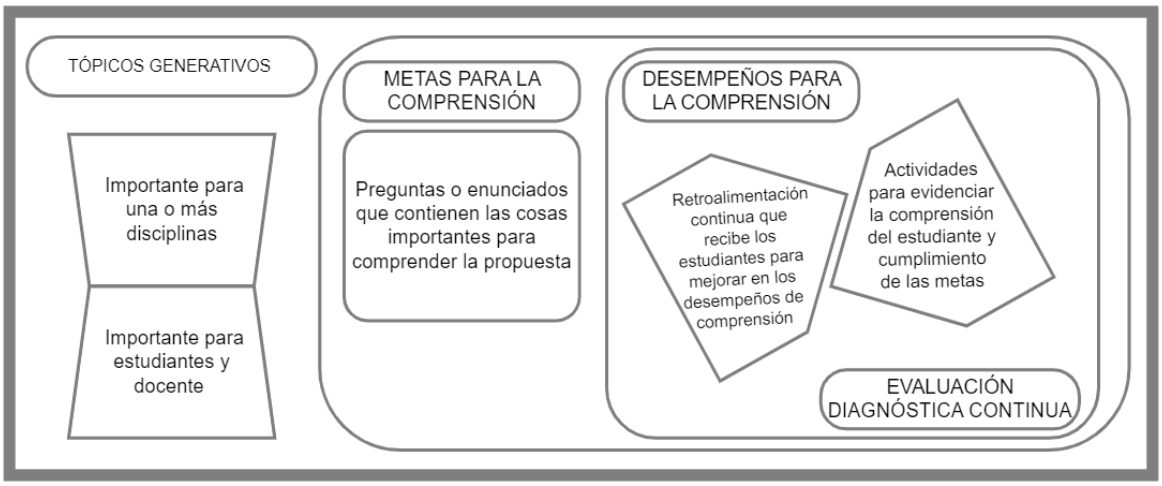
REFERENTES CONCEPTUALES

Enseñanza para la compresión (EpC)

La enseñanza para la comprensión (EpC) se fundamenta en actividades que fomentan la reflexión y aplicación del conocimiento escolar, evidenciando así el

aprendizaje del estudiante. Este enfoque se origina en el proyecto Cero de la Universidad de Harvard, dirigido por David Perkins y Martha Stone. Inicialmente concebido para investigar el impacto de las artes en la educación, el proyecto evolucionó hacia un nuevo paradigma educativo centrado en la comprensión. Su objetivo es prioritario: reducir la carga curricular para destacar los conceptos esenciales y su aplicabilidad en diversas áreas del saber y en la vida cotidiana (Molina Vásquez, 2015).

Figura 1. Marco Conceptual de la EpC.



Fuente: Elaboración Propia

"El marco conceptual que guía la EPC se estructura en cuatro pilares", explica Molina Vásquez (2015, p. 18). "Primero, se plantea la pregunta: ¿Qué tópicos merecen ser comprendidos? Esto se refiere a los tópicos generativos. Segundo, se aborda la cuestión de: ¿Qué aspectos de esos tópicos deben ser entendidos? Aquí entran en juego las metas de comprensión. Tercero, se indaga sobre: ¿Cómo podemos fomentar la comprensión? Este punto se relaciona con los desempeños de comprensión. Y finalmente, se pregunta: ¿Cómo podemos evaluar lo que los estudiantes comprenden? Esto se logra a través de una evaluación diagnóstica continua".

Tópicos Generativos

"Los procesos de comprensión para el estudiante se desarrollan alrededor de tópicos que deben ser centrales en una o más disciplinas, atractivos para el estudiante y accesibles para ser abordados desde diferentes perspectivas que permitan una relación entre la experiencia y estos", señala Molina Vásquez (2015). En este sentido, para definir un tópico generativo, se debe responder a la pregunta de qué temas o tópicos vale la pena enseñar (Molina Vásquez, 2015). Además, cuando se trabaja con una población con características especiales debido a su cultura, es esencial analizar la flexibilidad del currículo para realizar ajustes que favorezcan el aprendizaje y la comprensión del estudiante.

Dado que un tópico generativo puede abarcar una amplia gama de comprensiones en el estudiante, es crucial establecer un "límite". Por esta razón, se formulan metas que faciliten la comprensión del tópico sobre el cual se está trabajando un tema o unidad temática. Estas metas, según Molina Vásquez (2015), responden a los cuestionamientos sobre qué aspectos se deben enseñar según los tópicos generativos. Las metas de comprensión ayudan a precisar de mejor manera las relaciones y procesos con los cuales los alumnos comprenden mejor, mediante la indagación realizada por estos mismos.

Metas De Comprensión

El propósito es identificar los conceptos y procesos relacionados con el desarrollo de la comprensión del estudiante. Por ello, se distinguen dos tipos de metas de comprensión, como señala Otálora Soto (2009). El primer tipo de metas se refiere a aquellas que se trabajan dentro de un tema o unidad temática específica. Estas metas son concretas y se desarrollan durante un período determinado.

Por otro lado, están las metas abarcadoras, que tienen una estrecha relación con los tópicos generativos y actúan como hilos conductores. Estas metas se plantean a largo plazo y generalmente se evalúan al finalizar un período, semestre o año académico (Otálora Soto, 2009).

Desempeños para la comprensión

Contribuyen al desarrollo de la comprensión, por lo que están estrechamente relacionado con *las* metas de comprensión, estos desempeños son actividades en las que el estudiante aplica sus conocimientos de manera creativa. De acuerdo con Otálora (2009):

> "En estas actividades los estudiantes muestran evidencias, reconfiguran, expanden y aplican lo que ya saben y, además, extrapolan y construyen a partir de los conocimientos previos. Estos desempeños contribuyen en la construcción y demostración de lo que el estudiante verdaderamente comprende" (p. 124).

Dentro del marco conceptual de la enseñanza para la comprensión, los desempeños para la compresión tienen gran importancia antes que sus demás componentes, pues en el desarrollo de estos desempeños se evidencia la comprensión que ha adquirido un estudiante frente a un tópico en específico Molina Vásquez (2015).

Con base en lo anterior Molina Vásquez (2015) hace una clasificación de los desempeños para la compresión, con base en tres características:

- Etapa exploratoria: durante esta etapa se pretenden conocer los saberes con los que un estudiante viene con respecto a los tópicos generativos que se van a trabajar durante la unidad temática o tema en específico.
- Investigación guiada: en esta etapa el docente le brinda al estudiante las bases conceptuales y herramientas metodológicas necesarias para el cumplimiento de las metas de comprensión planteadas. Además, a medida que se avanza en los desempeños para la comprensión, estos adquieren una mayor dificultad, de manera que estos desempeños se perfeccionan llevando al estudiante a alcanzar el dominio del tópico generativo que se esté trabajando.
- Proyecto final de síntesis: son actividades en las que los estudiantes dan muestra de la comprensión que han obtenido a través del logro generado

por los desempeños; estos proyectos pueden ser la socialización de alguna actividad dentro del aula o fuera de la clase.

Evaluación Diagnóstica Continua

En la que el docente y los estudiantes se concentran en el ámbito de lo que se comprende y cómo proceder en la enseñanza y el aprendizaje bajo dos tipos de evaluación: la primera que se hace al inicio, dejando en claro y expresando públicamente la manera en que se van a realizar dichas evaluaciones para que el estudiante desde un principio conozca a qué se va a someter y los temas que van a entrar en dichas evaluaciones; la segunda, es una retroalimentación constante que se hace para que el estudiante conozca sus falencias y vaya mejorando a medida que se avanza en los desempeños de comprensión y al avanzar en el desarrollo del tema o unidad temática que esté desarrollando. En este proceso es importante que el estudiante cuente con una constante retroalimentación para que sea consciente de su progresión, y le permita al docente, evaluar futuras estrategias para evitar que algún estudiante vuelva cometa las mismas falencias Otálora (2009).

Ambiente Virtual de Aprendizaje (AVA)

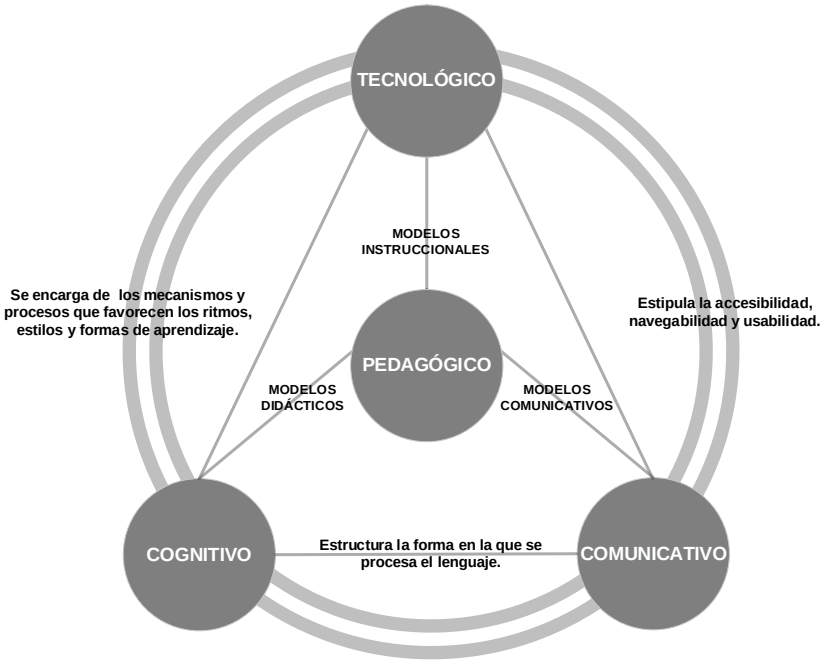
A la hora de hablar de ambientes virtuales de aprendizaje (AVA) se hace referencia a la creación y diseño de entornos digitales que facilitan la adquisición de conocimientos y habilidades a través de la tecnología. Estos ambientes pueden ser utilizados en una variedad de contextos educativos, desde la enseñanza formal en escuelas y universidades hasta la formación corporativa y el aprendizaje en línea. Desde la perspectiva de Ángel Cuartas (2017), un AVA es un espacio digital en el cual los estudiantes interactúan con el contenido educativo y recursos que se encuentran en este, mediante dispositivos electrónicos (tales como computadores, tabletas, smartphones, entre otros), estos ambientes generalmente se caracterizan por incluir elementos como materiales de estudio en línea, actividades interactivas, foros de discusión, videos educativos, evaluaciones y retroalimentación.

Un AVA debe facilitar el acceso al aprendizaje en cualquier momento y lugar, promover la participación de los estudiantes, personalizar la experiencia de

aprendizaje para adaptarse a las necesidades individuales y fomentar la colaboración y la interacción entre estudiantes y con el instructor. Ángel Cuartas (2017), propone unos elementos clave para lograr que un AVA cumpla con lo mencionado anteriormente; estos elementos son: el contenido en el cual los recursos de aprendizaje estén pensados como lecturas, videos, simulaciones y ejercicios; la interacción hace referencia a la comunicación entre estudiantes y docentes mediante de foros, chats y videoconferencias; la evaluación se piensa mediante pruebas en línea, tareas y retroalimentación para medir el progreso del estudiante y finalmente el diseño es una interfaz de usuario y experiencia de usuario que facilite la navegación y la interacción.

Al momento de realizar la modelación de una AVA, es necesario determinar los procesos, recursos y contenidos necesarios para la enseñanza de un contenido de aprendizaje Merchán Basabe (2018). Para esto es importante tener en cuenta no solo un modelo pedagógico que le de orientación al AVA; sino que, buenos recursos tecnológicos y comunicativos. Con base en lo anterior y bajo la perspectiva de Merchán y Salazar (2004). Citado por Merchán Basabe (2018), se deben tener en cuenta cuatro componentes, estos son pedagógico, tecnológico, cognitivo y comunicativo, estos facilitan los procesos de aprendizaje del estudiante al momento de utilizar el AVA alcanzando la intencionalidad con la que este fue diseñado.

Figura 2. Componente para el modelamiento de un AVA.



Adaptada de Merchán Basabe, 2018.

De acuerdo con la figura 2, al hacer referencia al *modelamiento cognitivo* este permite anticipar y disponer acciones que le permitan generar en el estudiante activar su base de conocimientos, para procesar la información trasmitida por el AVA en un conocimiento estable y duradero (Merchán Basabe, 2018). Por otra parte, el *modelamiento comunicativo*, establece el lenguaje en función de la disciplina que se quiere enseñar; así como, la forma en la que se establece la forma en la que el estudiante procesara la información transmitida en conocimiento, esto hace que la interfaz gráfica y el discurso del AVA generen un modelo de comunicación asertivo, (Merchán Basabe, 2018).

El *modelamiento tecnológico*, hace referencia a todos aquellos sistemas y servicios que facilitan: a). Las formas de mediación e interacción; b). La interactividad con los recursos, contenidos y actividades en los tiempos establecidos; c). La construcción de un sentido comunicativo entre el AVA y el estudiante y finalmente d). Se genera una mediación entre el contenido educativo y los procesos de aprendizaje de los estudiantes. Este componente está al servicio de los otros tres, lo cual no significa

ni excluye que el diseño de un AVA pueda iniciar desde este vértice, (Merchán Basabe (2018).

> “Los modelamientos cognitivo y comunicativo deben ser acordes con las condiciones del aprendiz, así como con las posibilidades tecnológicas del ambiente (tanto de software como de hardware) y debe expresarse en la interfaz gráfica de usuario (GUI, por sus siglas en inglés) y aspectos multimediales del ambiente.” Merchán Basabe (2018), págs. 54-55.

Finalmente, el *modelamiento pedagógico*, determina la intencionalidad pedagógica que se desea promover el AVA, el tipo de estructura didáctica e instruccional, así como el modelo de actividades de aprendizaje, de evaluación y de retroalimentación necesaria para alcanzar el saber que se va a enseñar y su posibilidad de ser enseñado en un ambiente virtual y la condición técnica del ambiente y su posibilidad para enseñar el contenido. Merchán Basabe (2018).

Sustancias Perfluoroalquiladas y Polifluoroalquiladas (PFA’s)

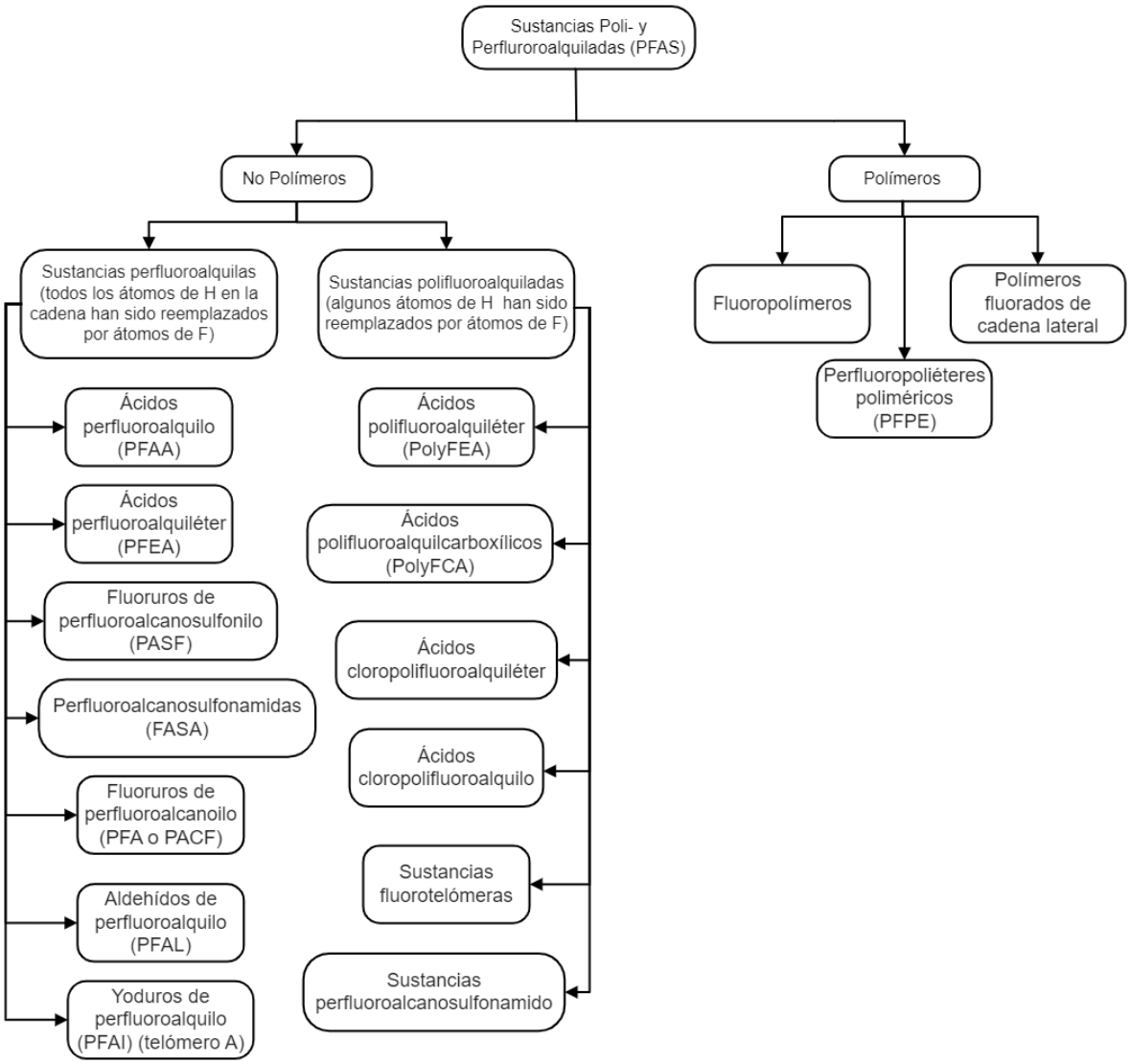
Las sustancias perfluoroalquiladas y polifluoroalquiladas conocidas como PFAS por sus siglas en inglés, son una amplia variedad de sustancias químicas; estas han sido utilizadas en diferentes industrias del mundo. Basado en el Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC, 2022), las PFAS son "un grupo de compuestos químicos que contienen carbono, flúor y otros elementos. Se utilizan en una amplia gama de productos, como revestimientos antiadherentes, telas repelentes al agua, espumas contra incendios y productos de limpieza". Las PFAS son resistentes al calor, al agua y a las manchas, lo que los hace muy útiles para estos fines. Por otra parte, en la definición de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 2023) se afirma que: “Las sustancias perfluoroalquiladas y polifluoroalquiladas son un grupo de agentes químicos que incluye PFOA, PFOS, GenX, y muchos otros agentes químicos.” Sin embargo, los agentes químicos tanto PFOA como PFOS son los más producidos y estudiados, estos agentes químicos no se degradan y pueden acumularse en el medio ambiente, así como en el cuerpo humano lo que causa efectos perjudiciales en la

salud humana como problemas de salud reproductiva, del sistema endocrino, inmunológico y cardiovascular.

Si bien estos tipos de compuestos han sido usados desde los años 40 cuando se introdujeron en productos o herramientas usadas diariamente como baterías de cocina, sartenes que tienen recubrimientos antiadherentes, tipos de prendas con recubrimientos impermeables, o elementos con material que contienen capas o recubrimientos de anti-manchas que evitan que el material absorba algún tipo de suciedad, cajas usadas para el empaque de comida rápida como pizza, entre otros materiales, su importancia radica en las características de estos compuestos como propiedades superiónicas, es decir iones circulares que en una misma molécula se contiene igual número de grupos funcionales cargados positivamente y negativamente, lo que conlleva a ser ideales para utilizarse como surfactantes además de su capacidad de reducir la tensión superficial.

Las PFA´s se pueden clasificar de diversas maneras; por su estructura química, los dos grupos principales son: PFA´s lineales que son aquellos que tienen una cadena de átomo de carbono que está unida a átomos de flúor; y los PFA´s ramificados, son aquellos que tienen una cadena de átomos de carbono que está ramificada. Se han identificado acerca de 4.000 PFA´s, sin embargo, debido a su clasificación solo algunos grupos de compuestos son los que actualmente están siendo monitoreados y se realiza un enfoque de ellos, hay poca o ninguna información sobre su destino o transporte, exposición y efectos toxicológicos en el dominio público o incluso conciencia para estudiarlos (ver Figura 1), aunque la evidencia existente sugiere que es necesario preocuparse.

Figura 3. Árbol genealógico de las PFAS



Adaptado de Environ. Sci. Technol. 2017, 51, 5, 2508-2518

https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.est.6b04806

En la figura 3 se muestra los nombres químicos dentro de la familia de las sustancias perfluoroalquiladas y polifluoroalquiladas (PFA´s)

Propiedades Físicas y químicas

El conocer las propiedades físicas y químicas de los PFA's es de suma importancia, ya que gracias a esta se puede predecir su destino y transporte en el medio

ambiente. Debido a la gran variedad de PFA's se tiene mucha información sobre las propiedades de algunos PFA's y poca información de otros, además de que la confiabilidad de estos valores es escasa (un ejemplo es la presión de vaporización y las constantes de la ley de Henry). Mientras que otros valores se estiman mediante la aplicación de métodos matemáticos predictivos (estos valores siempre acompañados de su incertidumbre), los cuales predicen las propiedades a partir del conocimiento de su estructura química, a este tipo de métodos se les denomina Modelos Cuantitativos de Relación Estructura-Actividad (QSAR de sus siglas en inglés Quantitative Structure-Activity Relationship). Además muchas de las propiedades de los PFA's están soportadas en su forma ácida que caso no está presente en el medio ambiente, a menos que las condiciones del pH este en los rangos de 1-5 (pH extremadamente ácidos), Interstate Technology and Regulatory Council (ITRC, 2017).

Propiedades Físicas

Estado Físico y/o Apariencia

La mayoría de las sustancias PFA's se encuentras en estado sólido (la mayoría se encuentras en forma cristalina y algunas en polvo) a temperatura ambiente, solo los PFA's de cadena corta (4-6 carbonos) tienen a estar en forma líquida a temperatura ambiente, por ejemplo, ácidos perfluorocarboxílicos (PFCA), ácidos perfluosulfónicos (PFSA), ácidos fluorotelómeros sulfónicos (FTSA) y alcoholes fluorotelómeros (FTOH) (ITRC, 2017).

Densidad

La densidad de los PFA's líquidos es mayor a la densidad del agua, estos tienen el potencial de migrar hacia abajo a través de la columna de agua en aguas subterráneas o superficiales como un líquido denso en fase no acuosa. Pues se han observado capas líquidas flotantes de fases separadas en la superficie de soluciones acuosas de ácido perfluoroctanóico (PFOA) y perfluoroctanofulfonato (PFOS) en altas concentraciones (ITRC, 2017).

Puntos de Fusión y Ebullición

La información sobre los puntos de fusión y ebullición determinan si un PFA's existirá como líquido, sólido o gas bajo a temperatura ambiente. Estos datos pueden variar entre referencias. Los valores previstos de los puntos de fusión y ebullición están disponibles para la mayoría de las PFA's, pero los valores derivados empíricamente no están disponibles para muchos compuestos. los puntos de fusión y ebullición de las PFA's tenderán a aumentar a medida que aumenta la longitud de la cadena fluorada. Por ejemplo, el punto de fusión del ácido perfluorobutanoico (PFBA) es de -17,5 °C, mientras que el punto de fusión del ácido perfluorotetradecanoico (PFTeDA) es de 130 a 135 °C (ITRC, 2017).

Solubilidad

Finalmente, a la hora de conocer la solubilidad de los PFA's en agua para muchos de los compuestos bien estudiados se dispone de datos medidos experimentalmente, pero aún se necesitan valores para los compuestos menos estudiados. La mayoría de los valores citados se basan en valores predichos o modelados y los valores de entrada para estos cálculos pueden ser en sí mismos estimaciones. Además, debido a que algunos PFA's pueden formar diferentes tipos de conjuntos supramoleculares, las solubilidades en agua informadas pueden incluir micro dispersiones de micelas o hemimicelas además de moléculas verdaderamente solubilizadas (ITRC, 2017).

Propiedades Químicas

Propiedades del enlace Carbono-Flúor

Una de las características de los PFA's es que sus propiedades se beben principalmente al enlace carbono-flúor, en la tabla 1 Se encontrarán las propiedades más importantes del flúor y su aporte en la estructura de los PFA's.

Tabla 1. Propiedades del Flúor

Propiedades del Flúor	Descripción	Efecto	Aporte en la Estructura de los PFA's
Alta Electronegatividad	Tiende a atraer los electrones en un enlace.	Enlace fuerte con el carbono	Estabilidad térmica
			Estabilidad química (baja reactividad)
		Enlace polar con carga parcialmente negativa hacia el flúor	Acidez fuerte (pKa bajo)[1]
Baja Polarizabilidad	La densidad de su nube electrónica no se ve fácilmente afectada por los campos eléctricos de otras moléculas	Interacciones moleculares débiles	Propiedades tensioactivas hidrofóbicas y lipofóbicas[2]
		Baja energía superficial	
Tamaño Pequeño	Su radio atómico covalente es de 0,72 Å	Escudo del enlace carbono-carbono	Estabilidad química (baja reactividad)

1. Cuando se combinan con un grupo funcional como un ácido carboxílico o sulfónico
2. Cuando se combina con un grupo funciona que es hidrófilo, por ejemplo**,** un carboxilato

Adaptada de (ITRC, 2017).

Como se puede observar en la tabla 1, gracias a la alta electronegatividad del flúor es que el enlace carbono-flúor se considera uno de los más fuertes en la química orgánica, además por la baja polarizabilidad del flúor produce que las interacciones

intermoleculares (fuerza de Vander Waals y Puentes de hidrogeno) sean muy débiles, Kissa 2001, citado por (ITRC, 2017). Esto es lo que le confiere a la mayoría de los PFA's sus propiedades hidrofóbicas y lipofóbicas (característica que los hace resistentes a las manchas) y sus propiedades tensoactivas; sin embargo, estas propiedades no son generales en todos los PFA's.

Propiedades de grupo funcional

Los grupos funcionales de PFAS incluyen carboxilatos, sulfonatos, sulfatos, fosfatos, aminas, entre otros. Estos grupos funcionales, incluidas las formas disociadas y no disociadas, son los responsables muchas propiedades de destino y transporte en el medio ambiente. Es el estado iónico de un compuesto el que determina su carga eléctrica y sus propiedades físicas y químicas, el estado aniónico o no disociado de un PFA's determinado puede alterar aspectos como la volatilidad y el potencial bioacumulativa (ITRC, 2017).

Los grupos funcionales de algunos PFA's (PFA's iónicos) pueden disociarse en aniones o cationes en solución acuosa en condiciones de pH apropiadas. El ion asociado con la porción fluoroalquilo del PFA's iónico puede ser un anión cargado negativamente, un catión cargado positivamente o un zwitterion (compuesto iónico que contiene grupos cargados positiva y negativamente con una carga neta de cero) Por lo tanto, las PFAS se pueden dividir en cuatro clasificaciones basadas en grupos funcionales, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 2. Clasificaciones basadas en grupos funcionales

grupo funcional	Descripción
Aniónico	contiene uno o más grupos funcionales ácidos, como ácidos carboxílicos, ácidos sulfónicos, sulfatos y fosfatos, y puede liberar un ion hidrógeno, formando así un anión
Catiónico	Contiene uno o más grupos funcionales básicos, como aminas, que pueden ganar un ion hidrógeno y formar un

	catión, o tener una carga permanente como en el caso de un grupo de amonio cuaternario.
Zwitteriónico	contiene dos o más grupos funcionales, al menos uno de los cuales puede formar un anión y el otro puede formar un catión.
No iónico	no se disocia en iones; por ejemplo, alcoholes.

Adaptada de (ITRC, 2017).

Métodos de Cuantificación de PFA's

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA por sus siglas del inglés Environmental Protección Agency), en el año 2008 diseño un método analítico para la cuantificación de los PFA's en diferentes matrices de agua (potable y residual), este método consiste en la extracción en fase sólida y cromatografía liquida/ espectrometría de masas en tándem (LC/LC/MS) EPA (2023). como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Métodos de Cuantificación de PFAS en matices de agua

Matriz de agua	Métodos EPA
Potable	EPA 537 EPA 537.1 EPA533
Residual	EPA 1633 Draff EPA 8317 Epa 1621

Adaptada de EPA (2023).

METODOLOGÍA

Población

Para esta investigación, se ha seleccionado un grupo de veintitrés (23) estudiantes pertenecientes a la Licenciatura en Química de la Universidad Pedagógica

Nacional, quienes han cursado el espacio académico de sistemas orgánicos II. Este grupo constituye la muestra sobre la cual se centra el estudio, el cual se enfoca en la enseñanza de las sustancias per- y polifluoroalquiladas (PFAS). Estas sustancias, notables por su presencia en compuestos orgánicos como los halogenuros de alquilo, son un componente fundamental del plan de estudios de dicho espacio académico, destacándose por su relevancia en la nomenclatura y sus propiedades Físico-Químicas.

Enfoque y tipología de la investigación

En el marco pedagógico de la Enseñanza para la Comprensión y en un entorno virtual de aprendizaje, se implementó un enfoque metodológico mixto para investigar la enseñanza de las PFAS. Este enfoque, alineado con los principios de la Enseñanza para la Comprensión, buscaba promover un aprendizaje significativo y profundo, donde los estudiantes no solo adquirieran conocimientos sobre las PFAS, sino que también desarrollaran habilidades de análisis crítico y reflexión. Al combinar elementos cualitativos y cuantitativos, se pretendía abordar integralmente la comprensión de las percepciones y experiencias de los estudiantes en relación con estos fenómenos. Esta metodología permitía no solo explorar las opiniones individuales de los estudiantes, sino también identificar patrones y tendencias a través del análisis de datos cuantitativos, enriqueciendo así la comprensión del tema desde diversas perspectivas (Sampieri, 2014).

En primer lugar, se empleó un enfoque cualitativo dentro de la investigación exploratoria que buscó profundizar las perspectivas, interpretaciones y significados que los estudiantes atribuían en un tema novedoso en el ámbito educativo como lo son las PFAS. A través de actividades grupales y análisis de contenido de discusiones en línea, se buscaba comprender cómo los estudiantes percibían y comprendían estos temas, cómo interactuaban con ellos en el entorno virtual y cómo influían en su proceso de aprendizaje. Este enfoque permitía capturar matices y contextos específicos que podían no ser evidentes mediante métodos puramente cuantitativos.

En segundo lugar, se utilizaron métodos cuantitativos para complementar la comprensión obtenida a través del enfoque cualitativo. Se recopilaron datos cuantitativos a través de encuestas o cuestionarios estructurados para obtener información sobre la prevalencia de ciertas percepciones, actitudes o conocimientos sobre las PFAS en un grupo más amplio de estudiantes. Esto permitió identificar tendencias generales y establecer correlaciones entre variables relevantes, brindando una visión más completa y generalizable de la situación.

La principal innovación de este trabajo radica en la aplicación de un enfoque metodológico mixto para abordar la enseñanza de las PFAS en un contexto educativo novedoso como lo es la EpC y los entornos virtuales de aprendizaje. Esta combinación de métodos cualitativos y cuantitativos permite obtener una comprensión holística y profunda del fenómeno, abarcando tanto las experiencias individuales de los estudiantes como las tendencias generales en la población.

Adicionalmente, el trabajo de grado contribuye a la generación de conocimiento sobre la enseñanza de las PFAS, un tema de gran relevancia actual debido a su impacto en el medio ambiente y la salud humana. Los resultados de la investigación pueden ser utilizados para adaptar las estrategias de enseñanza de estas sustancias de manera más efectiva a las necesidades y perspectivas de los estudiantes, promoviendo un aprendizaje significativo y profundo.

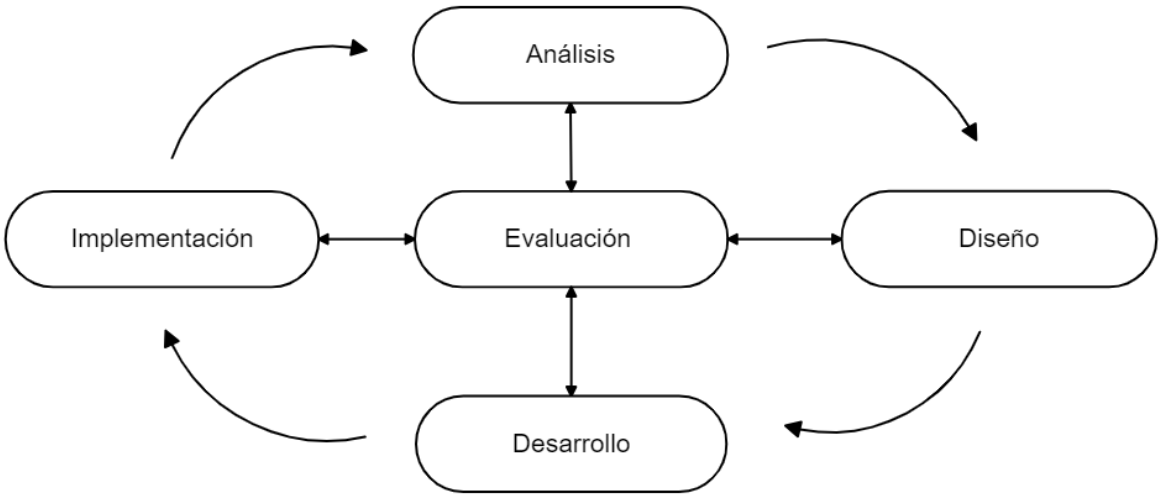
Para el desarrollo del estudio se adelantan las siguientes fases:

Fases de Investigación

El diseño metodológico empleado en la creación de recursos educativos digitales AVA se basó en el modelo institucional ADDIE (Análisis, diseño, desarrollo, implementación y evaluación), reconocido por su estructura sistemática y eficaz (Merrill, 2002, citado en Rizo et al., 2021). Este modelo proporcionó un marco organizativo para el desarrollo del ambiente virtual de aprendizaje centrado en las sustancias per y polifluoroalquiladas (PFA’s) y su impacto en el medio ambiente y la salud humana.

Al fusionar la metodología ADDIE con un AVA y la Enseñanza para la Comprensión, se mantuvo un enfoque centrado en el estudiante, promoviendo la participación, la reflexión y la construcción de nuevos conceptos a lo largo de todo el proceso de enseñanza y aprendizaje.

Figura 4. Esquema gráfico de la metodología ADDIE



Fuente Elaboración propia adaptado de Merrill 2002

Fase I: Diagnóstico

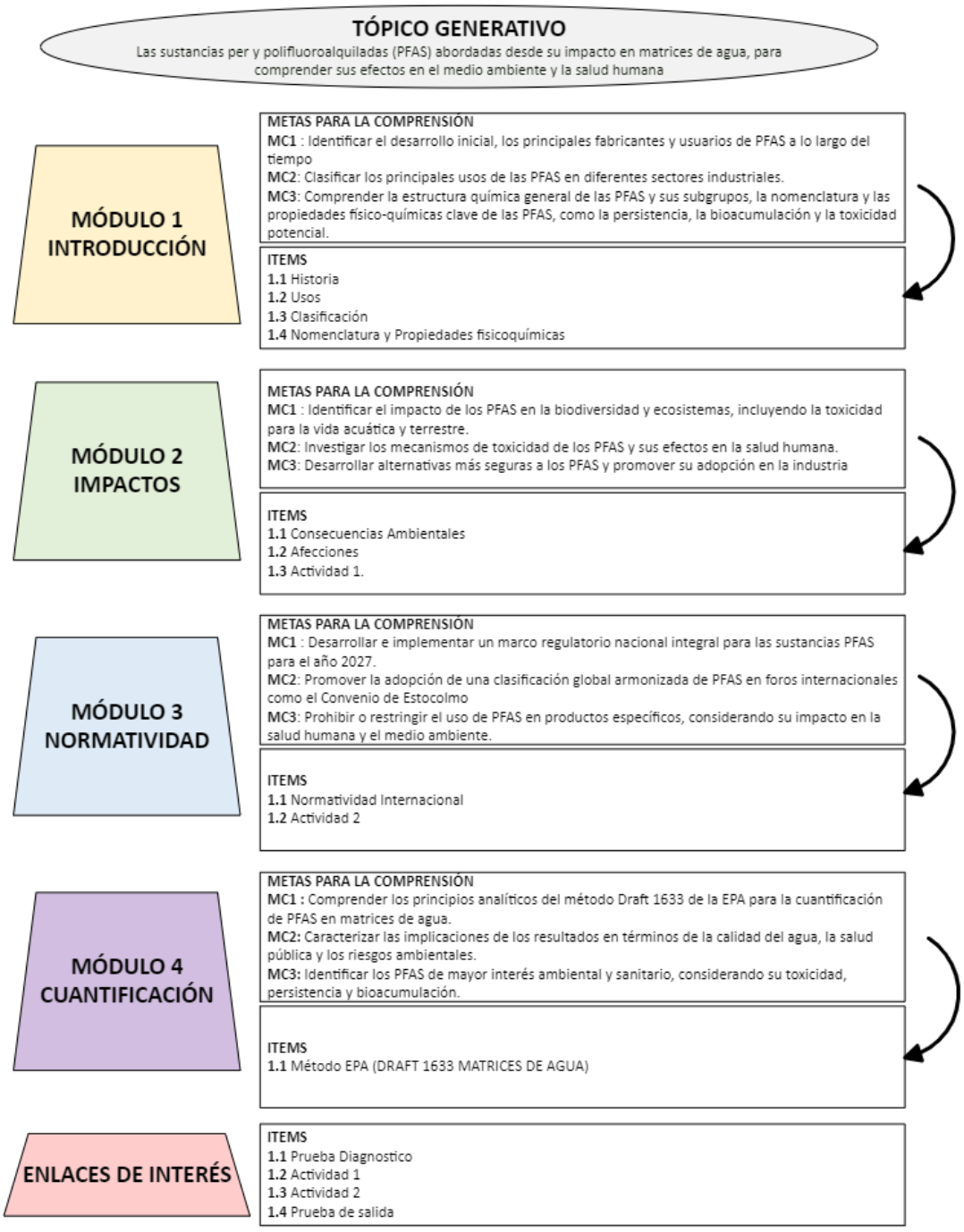
La fase inicial de la investigación se dedicó a comprender y discernir las percepciones de la población respecto a las sustancias per- y polifluoroalquiladas (PFA's) y su repercusión en el medio ambiente y la salud humana. Se diseñó un cuestionario de opción múltiple con única respuesta para establecer un sólido punto de partida para el análisis. Este instrumento abordó diversos aspectos relacionados con las PFA's, incluyendo su tipología, estabilidad, efectos, marco normativo, antecedentes y características fisicoquímicas.

Fase II. Estructuración del Ambiente Virtual de Aprendizaje

Para la estructuración del ambiente virtual de aprendizaje (AVA) se estableció bajo el modelo de la enseñanza para la compresión. Por esta razón se adoptó como tópico generativo: "*las sustancias per y polifluoroalquiladas (PFA's) abordadas*

desde su impacto en matrices de agua, para comprender sus efectos en el medio ambiente y la salud humana". En la figura 5 se encuentra la estructuración del AVA que fue aplicado. Adicionalmente cada módulo contó con sus respectivas metas para la compresión (objetivos específicos de cada uno) y los desempeños para la compresión (actividades en las que los estudiantes aplican sus conocimeontos), finalmente se contó con actividades evaluativas que permiten identificar al estudiante y a los docentes los niveles de compresión.

Figura 5. Estructura AVA



Fuente: Elaboración Propia

Fase III. Prueba Piloto del Ambiente Virtual de Aprendizaje

Con el fin de establecer si la aplicación del AVA dio cumplimiento al tópico generativo bajo el cual se diseñó y a los objetivos de trabajo de investigación, se realizarán dos actividades en las cuales se evaluó lo aprendido por parte de la

población de estudio y finalmente la aplicación de una prueba final, en la que se evaluó los contenidos vistos en el AVA. Para finalizar el proceso del trabajo de investigación, se realiza el análisis de los resultados y su respectiva comparación con la prueba de entrada para identificar si la aplicación del AVA promueve la compresión, genera concientización e incentiva futuras investigaciones con relación a las sustancias per y polifluoroalquiladas (PFA's), dicho análisis se realizó con ayuda de softwares estadísticos cualitativos.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados recopilados de cada una de las fases mencionadas previamente:

Fase 1. Diagnóstico

A partir del instrumento de diagnóstico (ver anexo 1), se obtuvieron los siguientes resultados:

Resultados de la encuesta diagnostico relacionado a las PFAS

En el contexto de la creciente preocupación por la presencia de sustancias perfluoroalquiladas y polifluoroalquiladas (PFAS) en el medio ambiente y su impacto en la salud humana, se ha llevado a cabo un análisis exhaustivo a partir de una prueba diagnóstica. Esta prueba, diseñada para evaluar el conocimiento y comprensión de los estudiantes sobre los PFAS, aborda una variedad de aspectos clave relacionados con estas sustancias. Las preguntas se han clasificado en cuatro categorías principales: Introducción y Contexto, Características y Propiedades de PFAS, Distribución y Uso de PFAS, e Impacto Ambiental y en la Salud.

Introducción y Contexto

Las primeras cuatro preguntas se centran en establecer una base de conocimiento sobre los PFAS. Desde definir el acrónimo PFAS hasta explorar su presencia global en el agua potable, estas preguntas buscan proporcionar un contexto inicial para comprender la importancia y el alcance de este tema.

1. **¿Qué significa el acrónimo PFAS?**

   La indagación sobre el significado del acrónimo PFAS revela una diversidad de respuestas entre los participantes del cuestionario. Del total de encuestados, un porcentaje considerable del 57% identificó correctamente la definición (opción C), mientras que un 43% mostró dificultades para precisarla. Dentro de este grupo, un 29% seleccionó la opción A como respuesta, mientras que un 14% optó por la alternativa D.

   Los resultados proporcionan una visión general del conocimiento de los estudiantes sobre el acrónimo PFAS. Los resultados sugieren que hay cierta confusión sobre el significado del acrónimo, por lo que es importante proporcionar información clara y precisa sobre el tema.

2. **¿Cómo se define una sustancia polifluoroalquilada?**

   El 76% de los estudiantes que completaron la encuesta respondieron correctamente a la pregunta. La respuesta incorrecta más común fue "Sustancia que carece de átomos de flúor" (0 estudiantes). Esto sugiere que los encuestados tienen una comprensión clara de lo que no es una sustancia polifluoroalquilada.

   El alto porcentaje de respuestas correctas sugiere un buen conocimiento general sobre la definición de una sustancia polifluoroalquilada entre los estudiantes encuestados. Sin embargo, la presencia de respuestas incorrectas y alternativas erróneas indica que aún existe cierta confusión o falta de claridad sobre el término.

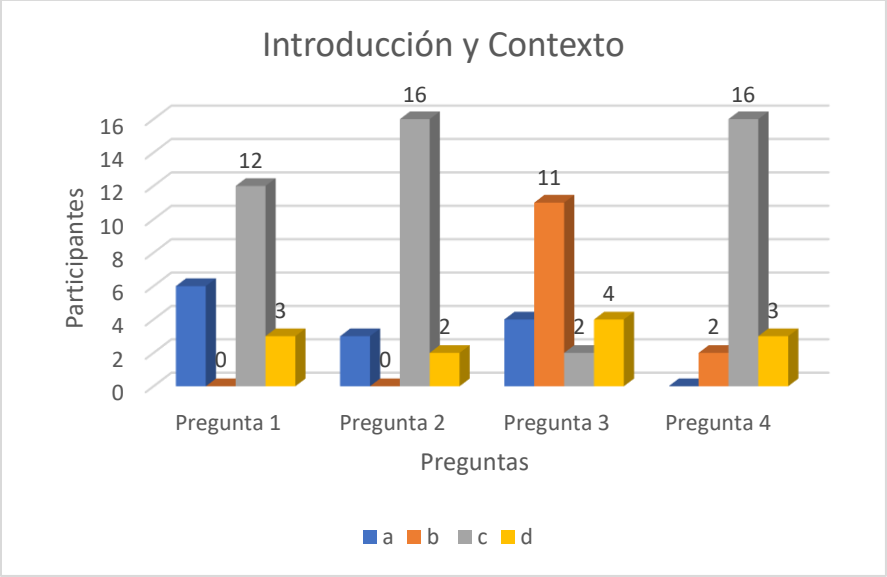
3. **¿Cuál es el nombre del PFAS más conocido?**

   En el grafico 1 la pregunta 3 se observa que solo el 52% de los estudiantes respondieron correctamente, lo que indica que poco más de la mitad tiene un buen conocimiento del PFAS más reconocido. Sin embargo, es importante destacar que existe cierta confusión en cuanto a este término, ya que del 48% restante, las respuestas incorrectas más comunes fueron PFOS y PFHxS, con un 19%, y PFTE, con un 10%.

4. **En la terminología "Per- y Polifluoroalquiladas", ¿qué indica el prefijo "Per-"?**

El gráfico 1 de la pregunta 4 muestra la distribución de las respuestas de los encuestados. Se observa que la mayoría de los estudiantes (82%) seleccionaron respuestas incorrectas, lo que indica un bajo nivel de conocimiento sobre la terminología de los PFAS. Los resultados de la pregunta sugieren que existe una necesidad de mejorar la educación y la comunicación sobre los PFAS, incluyendo su terminología química y sus características.

Figura 6. Introducción y contexto



Fuente Elaboración propia

Características y Propiedades de PFAS:

Las siguientes 7 preguntas exploran las características intrínsecas de los PFAS, desde su estructura molecular hasta su impacto en el medio ambiente y en la salud humana. Se indaga sobre los enlaces químicos responsables de sus propiedades únicas y se examina cómo estas sustancias pueden afectar los cuerpos de agua y los ecosistemas en general.

5. **¿Cuál de las siguientes afirmaciones es falsa sobre la estabilidad del enlace carbono-flúor?**

Los resultados muestran una distribución relativamente equilibrada entre las opciones B y C, con 7 personas cada una seleccionando estas respuestas como verdaderas. La opción A fue seleccionada por 4 personas, mientras que la opción D fue seleccionada por 3 personas.

Sin embargo, la pregunta solicita identificar la afirmación falsa sobre la estabilidad del enlace carbono-flúor. Por lo tanto, la respuesta correcta sería la opción C, ya que esta afirmación es verdadera en lugar de falsa.

6. **¿Dónde es más probable encontrar PFAS?**

   Para la pregunta 6 la mayoría de los estudiantes seleccionaron la opción D, indicando que consideran que es más probable encontrar PFAS en todas las áreas mencionadas en las opciones. Las opciones A, B y C recibieron cada una 3 respuesta, lo que sugiere que algunos participantes podrían haber tenido opiniones divergentes sobre dónde es más probable encontrar PFAS, pero la opción D fue claramente la más seleccionada.

7. **¿Por qué las sustancias PFAS son conocidas por su persistencia ambiental?**

   De acuerdo con el grafico 2 la pregunta 7 revela que la mayoría de los encuestados están bien informados sobre el motivo por el cual las sustancias PFAS son conocidas por su persistencia ambiental, lo que sugiere un nivel de comprensión bastante sólido sobre este aspecto particular de las PFAS. Sin embargo, las respuestas minoritarias destacan la necesidad de una educación más clara y precisa sobre este tema, especialmente para aquellos que seleccionaron las opciones menos adecuadas. Este resultado puede ser útil para futuras investigaciones y campañas de concienciación sobre las PFAS y su impacto en el medio ambiente.

8. **¿Qué tipo de impacto ambiental se ha asociado con la exposición a PFAS?**

   En su mayoría, los estudiantes seleccionaron la opción C, indicando que asocian la exposición a PFAS con la contaminación del agua potable y el suelo. Esto sugiere un reconocimiento generalizado entre los encuestados sobre la conexión entre las PFAS y la contaminación ambiental. Por otra

parte, ningún estudiante selecciono las opciones B y D, lo que sugiere una falta de conocimiento o conciencia entre los encuestados sobre la posibilidad de que las PFAS estén asociadas con la disminución de la capa de ozono, la acidificación de la lluvia o el agotamiento de oxígeno en los océanos

9. **¿Cómo pueden las sustancias PFAS afectar a los cuerpos de agua?**

   Como se puede evidenciar en el gráfico 2 en la pregunta 9 la mayoría de los estudiantes encuestados seleccionaron la opción D, indicando que creen que las sustancias PFAS pueden afectar a los cuerpos de agua al acumularse y persistir en los sedimentos. Este resultado sugiere un consenso casi unánime entre los encuestados sobre el impacto de las PFAS en los cuerpos de agua. La falta de selecciones para las opciones A y B sugiere una clara comprensión por parte de los encuestados de que las sustancias PFAS no promueven la biodiversidad acuática ni carecen de impacto en los ecosistemas acuáticos.

10. **¿Qué significa el término "bioacumulación" en relación con las sustancias PFAS?**

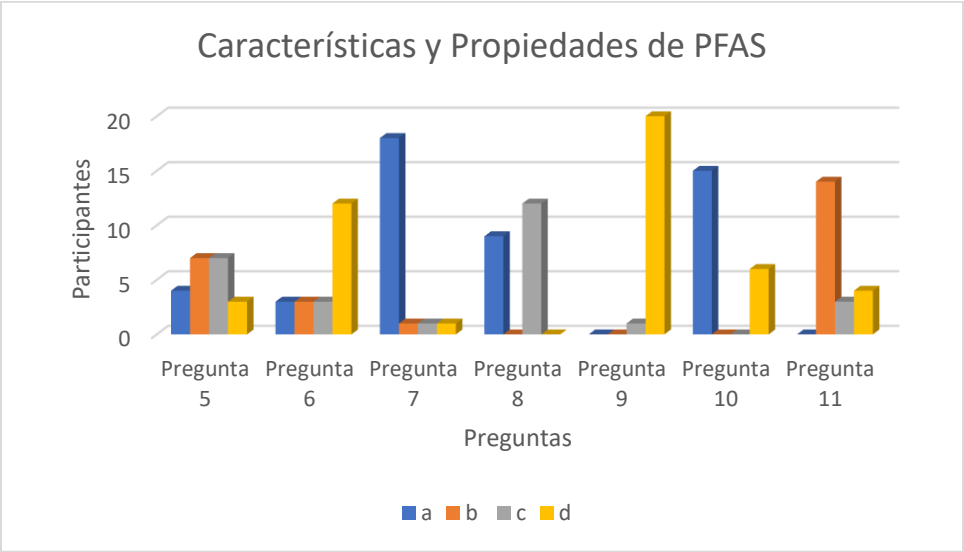
    De 21 personas 15 de ellas seleccionaron la opción A, indicando que creen que el término "bioacumulación" en relación con las sustancias PFAS se refiere a la acumulación de estas sustancias en los tejidos de los organismos. La opción D la seleccionaron 6 personas, lo que indica una percepción minoritaria de que ninguna opción anterior representa el significado del término "bioacumulación" en relación con las sustancias PFAS. Se resalta la importancia de comprender el proceso de bioacumulación de las sustancias PFAS en los tejidos de los organismos, lo que puede tener implicaciones significativas para la salud humana y el medio ambiente. Además, sugiere que podría ser beneficioso enfocar los esfuerzos educativos en reforzar este entendimiento entre los estudiantes y el público en general.

11. **¿Qué efectos adversos para la salud humana se han asociado a la exposición a sustancias PFAS**

    La mayoría de los participantes en la encuesta (67%) pudieron identificar correctamente el efecto adverso para la salud humana más comúnmente

asociado a la exposición a sustancias PFAS. Esto sugiere que existe un buen nivel de conocimiento sobre este tema entre la población general. Por otro lado, ninguna persona seleccionó la opción A, lo que indica un claro entendimiento de que las PFAS no están asociadas con la mejora de la salud cardiovascular. Solo 3 personas seleccionaron la opción C, lo que sugiere una percepción minoritaria sobre el posible fortalecimiento del sistema inmunológico como un efecto adverso de la exposición a las PFAS.

Figura 7. Características y propiedades de PFAS



Fuente Elaboración propia

Distribución y Uso de PFAS:

Las preguntas en esta sección se enfocan en la distribución y aplicación de los PFAS en diversas industrias y contextos. Se investiga dónde es más probable encontrar estas sustancias y cómo se regulan en diferentes países en respuesta a preocupaciones ambientales y de salud pública.

12. ¿Cómo se regula el uso de sustancias PFAS en algunos países?

El gráfico 3 en la pregunta 12 proporciona una instantánea de las percepciones de los usuarios sobre la regulación de las sustancias PFAS en algunos países. Los resultados sugieren que la mayoría de los estudiantes

creen que estas sustancias están sujetas a restricciones y prohibiciones, lo que es consistente con las tendencias emergentes en la regulación de PFAS. Sin embargo, también hay una falta de conocimiento sobre las regulaciones existentes y algunos estudiantes creen que las sustancias PFAS no están reguladas o incluso se promueven para su uso indiscriminado. Es importante que se continúe educando al público sobre los riesgos de los PFAS y las regulaciones existentes para proteger la salud humana y el medio ambiente.

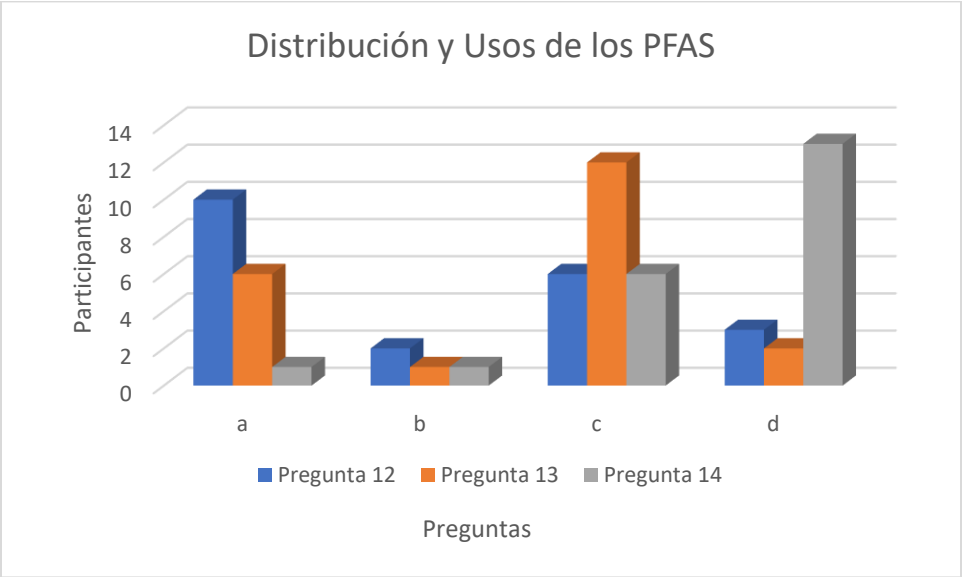
13. **¿Cuál de las siguientes aplicaciones NO utiliza PFAS debido a sus propiedades?**

    Los resultados indican que la mayoría de los encuestados identificaron correctamente que la fabricación de lentes de contacto es la aplicación que NO usa PFAS por sus propiedades. Sin embargo, también hay una falta de conciencia sobre el uso extendido de PFAS en aplicaciones como recubrimientos antiadherentes en utensilios de cocina e impermeabilización de textiles y calzado, así como una confusión sobre la presencia de PFAS en espumas para combatir incendios. Esto resalta la importancia de la educación y la conciencia pública sobre el uso de PFAS en diversas aplicaciones y sus implicaciones para la salud y el medio ambiente.

14. **¿Cuál es una de las propiedades distintivas de las sustancias PFAS?**

    La mayoría de los encuestados identificaron correctamente la alta resistencia al agua y la resistencia al fuego como propiedades distintivas de las sustancias PFAS. Sin embargo, también revelan una falta de comprensión sobre la biodegradabilidad rápida y la baja persistencia en el medio ambiente de los PFAS, lo que resalta la necesidad de una mayor educación sobre este tema.

Figura 8. Distribución y Usos de los PFAS



Fuente Elaboración propia

Impacto Ambiental y en la Salud:

Finalmente, se examina el impacto de los PFAS en el medio ambiente y en la salud humana. Desde la bioacumulación en la cadena alimentaria hasta los efectos adversos para la salud asociados con la exposición a estas sustancias, estas preguntas profundizan en las consecuencias tangibles de la presencia de PFAS en nuestro entorno.

15. **¿Cuál de las siguientes propiedades NO es característica de las PFAS?**

    Los resultados de la encuesta confirman que la solubilidad en agua no es una característica típica de las sustancias PFAS. Las PFAS son generalmente hidrofóbicas y persistentes en el medio ambiente. Tienen una baja tensión superficial y son estables a altas temperaturas. Estas propiedades las hacen útiles en una variedad de aplicaciones, pero también plantean preocupaciones ambientales y de salud debido a su persistencia y capacidad para bioacumularse en los organismos vivos. Sin embargo, Es importante aumentar la conciencia pública sobre los riesgos potenciales de las sustancias PFAS y promover el uso de alternativas más seguras y

sostenibles. Además, se necesitan más investigaciones para comprender mejor los impactos de los PFAS en la salud humana y el medio ambiente.

16. **¿Qué tipo de enlace químico es el principal responsable de las propiedades únicas de las PFAS?**

    Los resultados revelan una percepción errónea sobre los enlaces iónicos y una comprensión limitada sobre los enlaces de Van der Waals en relación con las PFAS. Sin embargo, los resultados de esta pregunta muestran que la mayoría de los encuestados identificaron correctamente los enlaces covalentes polares como el principal tipo de enlace responsable de las propiedades únicas de las PFAS

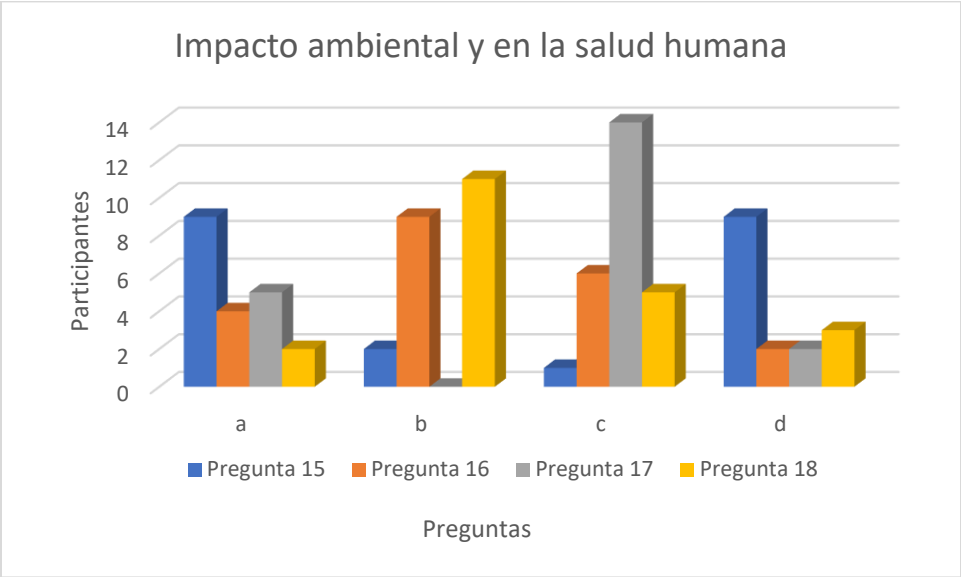
17. **¿En qué año se comenzó a producir el PFOA?**

    Los resultados de la encuesta indican que la mayoría de los participantes (52%) cree que el PFOA comenzó a producirse en la década de 1940 (opción b), con 11 votos de los 21 participantes. Siendo esta la respuesta es la correcta.

18. **¿En qué países se han encontrado niveles altos de PFAS en el agua potable?**

    11 de los encuestados seleccionaron la opción D, indicando que creen que se han encontrado niveles altos de PFAS en el agua potable de Estados Unidos, China y Alemania. Este resultado sugiere un consenso significativo entre los encuestados sobre la extensión global del problema de la contaminación por PFAS en el suministro de agua potable. Por otro lado, 7 personas seleccionaron la opción A, indicando que creen que solo se han encontrado niveles altos de PFAS en el agua potable de Estados Unidos. Esto sugiere que algunos encuestados pueden no estar al tanto de la situación en otros países. Sin embargo, se resalta la importancia de reconocer la naturaleza global de la contaminación por PFAS en el suministro de agua potable y subraya la necesidad de esfuerzos internacionales coordinados para abordar este problema emergente de salud pública y medioambiental.

Figura 9. Impacto ambiental y en la salud humana



Fuente Elaboración propia

Después de un análisis detallado, se observa que los estudiantes tienen un nivel variado de comprensión sobre los PFAS. En la introducción y el contexto, se evidencia una comprensión general del acrónimo PFAS y la definición de sustancia polifluoroalquilada, aunque persisten áreas de confusión sobre términos específicos. Esto resalta la necesidad de proporcionar información clara y precisa sobre el tema. En cuanto a las características y propiedades de los PFAS, los estudiantes muestran un buen conocimiento sobre la estabilidad del enlace carbono-flúor y su persistencia ambiental. Sin embargo, hay confusión sobre la ubicación donde es más probable encontrar PFAS y cierta falta de conocimiento sobre la terminología específica relacionada con estos compuestos. En relación con la distribución y uso de los PFAS, se observa un entendimiento adecuado sobre la regulación de estas sustancias en algunos países, aunque persiste confusión sobre sus aplicaciones y las posibles excepciones debido a sus propiedades. Finalmente, en la categoría de Impacto Ambiental y en la Salud Humana, la mayoría de los estudiantes muestran un buen conocimiento sobre la bioacumulación de PFAS y los efectos adversos para la salud. Hay una comprensión limitada sobre el tipo de enlace químico responsable de las propiedades únicas de los PFAS y algunas áreas

donde se necesita mayor educación sobre su historia de producción y distribución global en agua potable.

Fase II. Estructuración del Ambiente Virtual de Aprendizaje

Para implementar el AVA, se diseñó siguiendo lineamientos y principios clave para garantizar su efectividad en el apoyo al aprendizaje. Es fundamental anticipar diversos factores que tendrán un papel crucial en el AVA, especialmente considerando los resultados obtenidos a partir de la prueba diagnóstica. En este sentido, algunos elementos clave de este análisis incluyen los recursos técnicos y didácticos ofrecidos por la plataforma, los objetivos educativos asociados con cada contenido presentado, y las dificultades específicas de conocimiento que enfrenta el grupo que participará en el entorno virtual.

En esta fase, se procedió a diseñar las actividades evaluativas y elaborar el AVA, tomando como referencia los resultados obtenidos en la prueba diagnóstica. Además, en el AVA se entregaron diversos recursos como enlaces a lecturas complementarias, vídeos explicativos y ejercicios interactivos que fortalecieron el aprendizaje de los estudiantes. El diseño se realizó bajo la plataforma WIX, la cual ofrece herramientas accesibles en la web tanto para usuarios como para administradores. Esta plataforma asegura una disponibilidad en línea, eliminando preocupaciones de compatibilidad al no requerir la descarga de programas o extensiones adicionales para aprovechar todas las funcionalidades ofrecidas por el sistema.

Metodología ADDIE

1. **Análisis del AVA**

Como se mencionó anteriormente, en este análisis, se destacan varios elementos clave: los recursos técnicos y didácticos proporcionados por la plataforma, los objetivos educativos establecidos para cada contenido, y las dificultades específicas de conocimiento identificadas en el grupo que participará en el entorno virtual.

El A.V.A tiene como objetivo principal que los participantes desarrollen una serie de competencias previamente definidas. Estos objetivos se alcanzan a través de los diversos contenidos presentados en la página web, los cuales están cuidadosamente diseñados para guiar a los usuarios en el proceso de aprendizaje. Para fomentar la autonomía de los participantes, el A.V.A no impone una secuencia predefinida ni un límite de tiempo establecido para las lecciones. De esta manera, los usuarios tienen la flexibilidad de adaptar su ritmo de aprendizaje a sus necesidades e intereses. El A.V.A aprovecha al máximo las herramientas virtuales que ofrece la plataforma para promover la construcción colaborativa del conocimiento. Esto se logra a través de foros, chats, grupos de trabajo y otras herramientas que permiten a los participantes interactuar, compartir ideas y construir juntos un conocimiento más profundo y significativo. Esta combinación de características convierte al A.V.A en una herramienta valiosa para el aprendizaje en línea, permitiendo a los participantes alcanzar sus objetivos de manera efectiva y satisfactoria.

2. Diseño del AVA

El diseño del ambiente virtual es fundamental, se realizó el diseño y construcción del AVA mediante navegadores web siguiendo el enlace: https://pfaseducador1.wixsite.com/pfas permitiendo una fácil navegación y comprensión de los contenidos relacionados con las PFAS. Para la creación del presente AVA, se ha priorizado la accesibilidad web, asegurando que la herramienta sea fácilmente visualizable en cualquier navegador y dispositivo. Durante las pruebas realizadas con los navegadores más comunes, se ha verificado el óptimo funcionamiento de cada contenido, garantizando así una experiencia sin contratiempos para los usuarios.

La página principal como se muestra en la figura 6 presenta una estructura simple y funcional que facilita la navegación y comprensión de los contenidos relacionados con las PFAS, con una disposición ordenada de secciones que permiten a los usuarios acceder fácilmente a la información deseada. Al acceder a la página web se observa un menú horizontal ubicado en la parte superior de la página planteado

de manera intuitiva y organizada para facilitar la navegación, el cual presenta diferentes secciones claramente identificadas. Cada sección del menú está etiquetada de manera concisa y descriptiva, lo que permite a los usuarios identificar rápidamente el contenido al que desean acceder. Además, el menú se ha diseñado de forma que sea visible en todas las páginas del sitio, lo que facilita la navegación y la orientación dentro del mismo. La disposición del menú refleja una estructura jerárquica y coherente, lo que ayuda a los usuarios a comprender la organización del contenido y a encontrar fácilmente.

Figura 10. Página principal del AVA

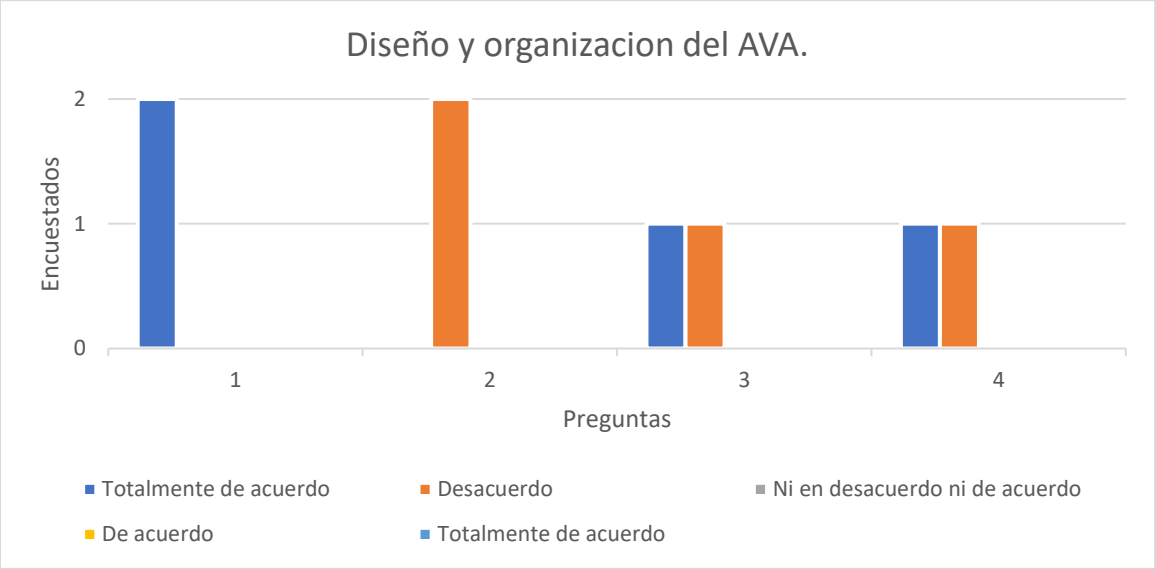
Fuente Elaboración propia

Por otra parte, la página web incorpora imágenes relacionadas con las PFAS (Ver Anexo 2) para complementar y enriquecer el contenido textual, brindando una experiencia visual atractiva para los visitantes, promueve la reflexión y el análisis crítico al presentar diferentes aspectos de las PFAS, incluyendo sus efectos en el medio ambiente y la salud humana, así como su regulación y manejo. Al ofrecer una variedad de recursos educativos, como artículos, videos y enlaces útiles, el sitio web fomenta el aprendizaje autodirigido y la exploración activa de los temas relacionados con las PFAS.

Validación por pares académicos

En esta sección se exponen las calificaciones y comentarios obtenidos de dos (2) docentes de química que llevaron a cabo el proceso de validación. Este ejercicio de validación se centró en evaluar indicadores pedagógicos, tecnológicos y didácticos, así como indicadores relacionados con el proceso y la construcción del material. (Ver anexo 3 y 4)

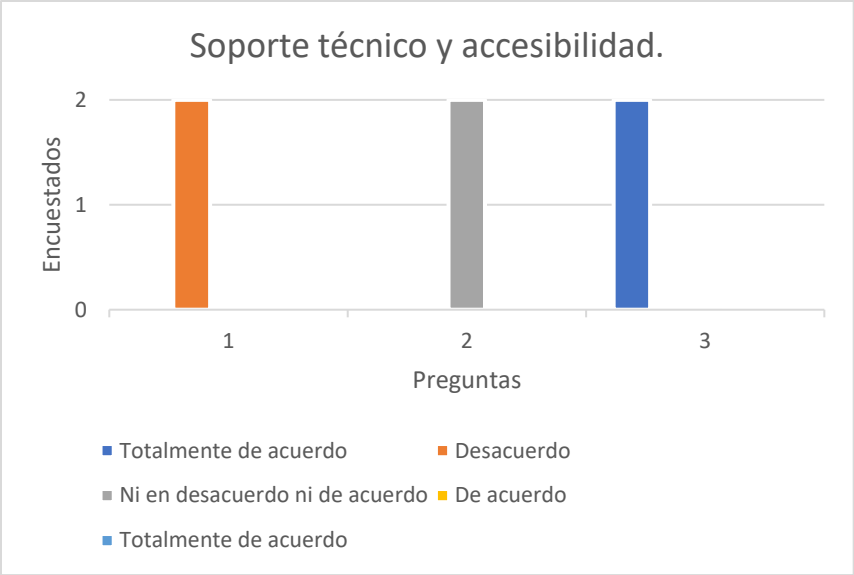
Figura 11. Resultados de categoría 1 Indicador Diseño y organización del AVA



En esta categoría los docentes encuestados están satisfechos con la plataforma AVA y consideran que cumple con sus expectativas. Los aspectos mejor valorados son la facilidad de uso, la organización de los contenidos, la calidad de los

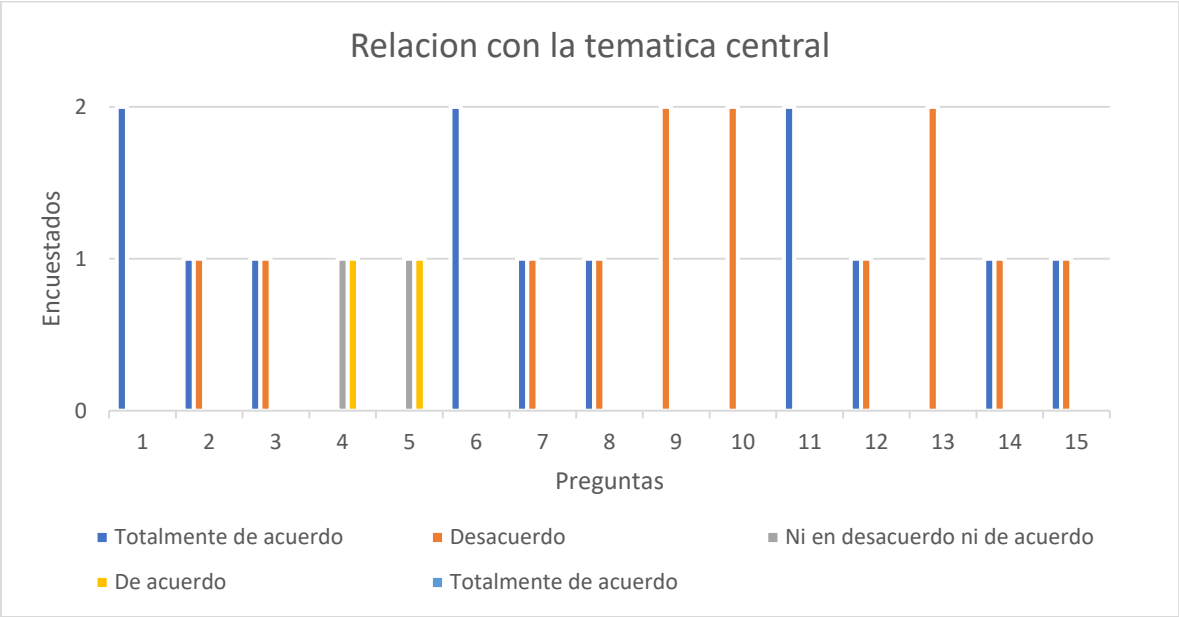
materiales y el diseño de las actividades. Si bien los resultados de la encuesta son positivos, se pueden implementar algunas mejoras para optimizar aún más la experiencia de los usuarios en la plataforma AVA.

Figura 12. Soporte técnico y accesibilidad



El gráfico 6 muestra las respuestas de los usuarios a una encuesta sobre la plataforma AVA. La encuesta evalúa la percepción de los usuarios en términos de diversos aspectos, incluyendo facilidad de uso, organización de los contenidos, calidad de los materiales, diseño de las actividades, evaluación, tutoría, comunicación e interacción, y recursos tecnológicos.

Figura 13. Indicador relación con la temática central



El análisis de la encuesta sobre el curso de aprendizaje virtual (AVA) sobre sustancias perfluoroalquiladas (PFAS) muestra una recepción generalmente positiva por parte de los docentes. La mayoría de los encuestados estuvieron de acuerdo en que el curso proporcionó información clara y precisa, con materiales fáciles de entender y actividades relevantes que promovieron el aprendizaje significativo. Además, destacaron la competencia de los instructores y la capacidad de interactuar con otros estudiantes. Aunque hubo una menor proporción que mencionó la interacción entre estudiante-docente, la mayoría de los aspectos evaluados obtuvieron una respuesta positiva. Esto sugiere que el curso cumplió con las expectativas de los usuarios y logró su objetivo de proporcionar una experiencia educativa efectiva sobre el tema de las PFAS

3. Desarrollo del AVA

Después de la creación del AVA, es crucial considerar las opciones para el ingreso, la administración y el uso efectivo de la plataforma. En este sentido, la plataforma se compone de varios roles que facilitan la gestión del sitio web. Estos roles pueden incluir administradores, instructores, moderadores y estudiantes, cada uno con diferentes niveles de acceso y responsabilidades dentro del entorno virtual.

Para el desarrollo del AVA, se pueden llevar a cabo las siguientes acciones:

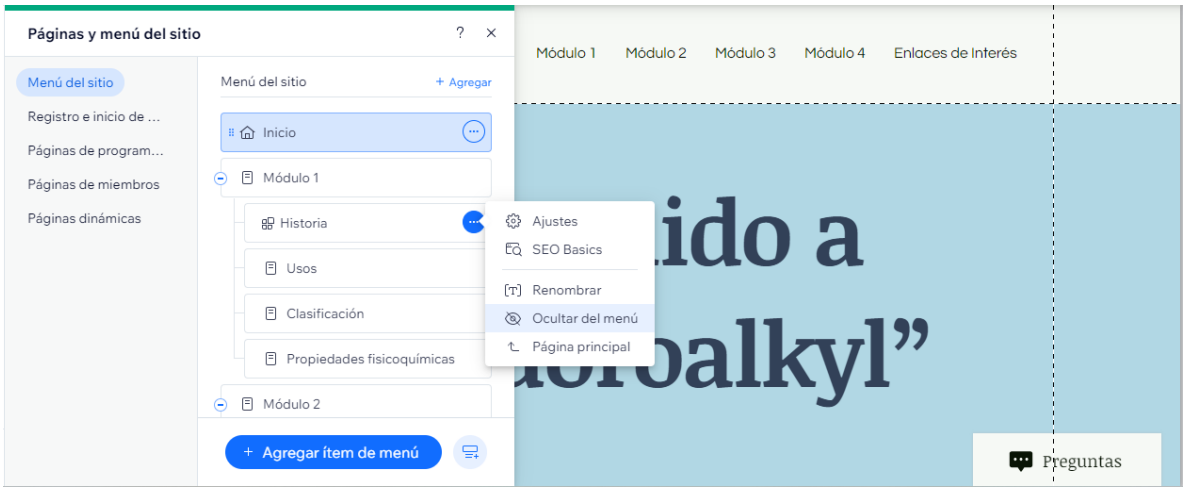
Tabla 4. Roles asignados para estudiantes y administradores

Acción	Estudiantes	Administradores
Desarrollar interfaces de usuario intuitivas y fáciles de navegar que permitan a los usuarios acceder rápidamente a las funciones y herramientas necesarias para su trabajo dentro del AVA.	NO	SI
Acceso completo al sitio web y puede realizar cambios en el diseño, contenido y configuración del sitio. Puede agregar y eliminar páginas, modificar el diseño, administrar usuarios y establecer permisos de acceso.	NO	SI
Crear, editar y eliminar contenido en el sitio web, como páginas, publicaciones de blog, galerías de imágenes, formularios de contacto, etc. Tienen control sobre el contenido del sitio y su organización.	NO	SI
Interactuar con elementos interactivos del sitio, como formularios de contacto o encuestas.	SI	SI
Participar en actividades, enviar mensajes, hacer preguntas, o completar tareas asignadas.	SI	SI

Nota: En algunos casos, como la gestión de documentos, puede haber restricciones o niveles de acceso específicos dentro de cada rol. Por ejemplo, un administrador puede tener permiso para gestionar documentos en el contexto de un curso

específico en el que está involucrado, pero no a nivel general en todo el AVA. Lo mismo se aplica al registro de nuevos usuarios, donde un administrador puede tener permiso para invitar a nuevos estudiantes a su curso, pero no para crear cuentas de usuario a nivel global en el sistema. Es importante tener en cuenta que como se muestra en la imagen 2, en Wix, los roles de administrador y estudiante pueden variar dependiendo de cómo se configure el sitio web y qué funcionalidades se implementen utilizando las herramientas proporcionadas por la plataforma.

Figura 14. Opciones de acceso ofrecidas por WIX



4. Implementación de AVA

El AVA consta de 4 módulos, las cuales los estudiantes pueden navegar de manera libre, sin embargo, teniendo en cuenta que estos módulos tienen una secuencialidad definida, es decir, es importante destacar que estos módulos siguen una secuencialidad definida para asegurar un proceso de enseñanza continuo y coherente. Por lo tanto, los estudiantes deben obligatoriamente iniciar su proceso en el módulo 1, ya que este establece los fundamentos y conceptos básicos necesarios para comprender los temas abordados en módulos posteriores. Esta estructura secuencial garantiza una progresión lógica en el aprendizaje y maximiza la comprensión y retención de la información por parte de los estudiantes.

5. Evaluación del AVA

En la evaluación del ambiente virtual, se consideran dos perspectivas: la percepción de la población participante y la visión administrativa. Para comprender la efectividad de los pasos dados en la creación del ambiente virtual de aprendizaje, se presentan diversos elementos evaluativos que reflejan ambos puntos de vista. Desde la perspectiva administrativa, se establecieron objetivos concretos para la fase de análisis y diseño del AVA, los cuales se detallan a continuación.

Tabla 5. Objetivos alcanzados para la fase de análisis y diseño del AVA

Fase	Objetivo	Estado Final
Análisis	Identificar las necesidades educativas específicas de la población objetivo en relación con el tema de las PFAS.	Alcanzado
Análisis	Analizar las características técnicas y pedagógicas del contenido existente sobre PFAS para determinar su adecuación al público y los objetivos educativos.	Alcanzado
Análisis	Analizar el contenido existente en la página web para identificar áreas de mejora y oportunidades de expansión en relación con la enseñanza de las sustancias per- y polifluoroalquiladas.	Alcanzado
Diseño	Diseñar una estructura clara y navegación intuitiva para el AVA que facilite el acceso a la información sobre las PFAS.	Alcanzado
Diseño	Integrar herramientas interactivas y actividades que fomenten la participación y el aprendizaje significativo sobre las PFAS.	Alcanzado
Diseño	Establecer criterios de evaluación y seguimiento del progreso de los estudiantes en el AVA en relación con los contenidos sobre PFAS.	Alcanzado

Fuente Elaboración Propia

La consecución de estos objetivos fue posible gracias a la aplicación de un enfoque ordenado y sistemático durante todo el proceso. La flexibilidad para reevaluar y ajustar algunos de estos objetivos una vez iniciado el proyecto resultó fundamental, ya que permitió abordar aspectos que inicialmente no se habían contemplado. Asimismo, en lo concerniente al desarrollo e implementación del ambiente virtual de aprendizaje, se definieron objetivos concretos que se detallan a continuación.

Tabla 6. Objetivos alcanzados para la fase de desarrollo e implementación del AVA

Fase	Objetivo	Estado Final
Desarrollo	Desarrollar contenido digital propio que responda a las competencias propuestas en fases anteriores	Alcanzado
Desarrollo	Diseñar actividades que mantengan el nivel de motivación de los participantes.	Alcanzado
Desarrollo	Estructurar el ambiente virtual de aprendizaje de manera flexible y ordenada, con módulos claros y actividades bien definidas.	Alcanzado
Desarrollo	Crear instrumentos de recolección de datos claros para conocer las opiniones de los participantes del ambiente virtual.	Alcanzado
Implementación	Asegurar que el ambiente virtual de aprendizaje esté siempre actualizado y disponible en línea.	Alcanzado
Implementación	Recopilar y analizar los datos generados de las actividades evaluativas utilizadas en el ambiente virtual de aprendizaje.	Alcanzado
Implementación	Proporcionar retroalimentación de las actividades a los participantes del proceso.	Alcanzado

Fuente Elaboración Propia

Durante las últimas dos fases, se lograron plenamente los objetivos establecidos, lo que facilitó un desarrollo óptimo del AVA. Esto aseguró que los usuarios podrían aprovecharlo al máximo y utilizarlo de manera adecuada, como se refleja en los resultados de la fase III.

Por otra parte, de la evaluación del AVA está determinada por el punto de vista que tienen los estudiantes de este, se recolectaron las respuestas por medio de la prueba final, que busca conocer las opiniones de la población estudio y los aspectos a mejorar.

Los resultados obtenidos por parte de los estudiantes de la muestra expresaron diversas opiniones respecto al Ambiente Virtual de Aprendizaje (AVA) que se detallan a continuación:

- Estructura organizativa: Los estudiantes resaltaron que la disposición del sitio web del AVA facilita la asimilación de los Contenidos Fundamentales del Área de Estudio (PFAS, por sus siglas en inglés). La información se encuentra dividida en módulos temáticos que cubren áreas específicas, lo cual les permite localizar con facilidad los datos necesarios y seguir una secuencia lógica de aprendizaje.
- Presentación de contenidos: Asimismo, se destacó la calidad en la presentación de la información dentro del AVA. Elementos visuales como imágenes, infografías, documentos, enlaces externos y vídeos se emplean para ilustrar conceptos, junto con material suplementario como guías y actividades prácticas. Esta variedad de recursos contribuye a hacer los contenidos más atractivos y comprensibles.
- Interactividad: Se observó entre algunos estudiantes el deseo de contar con más actividades interactivas en el AVA, particularmente en lo referente a la nomenclatura. Consideran que esto fomentaría un aprendizaje más participativo y fortalecería su comprensión del tema.
- Novedad: Para algunos estudiantes, la manera en que se presenta la información en el AVA se percibe como fresca e innovadora, lo cual resulta beneficioso especialmente para aquellos menos familiarizados con el tema.

- Utilidad: En general, los estudiantes consideran que el AVA constituye una herramienta valiosa para el estudio de compuestos orgánicos. Les permite aprender a su propio ritmo, acceder a los materiales desde cualquier ubicación y resolver dudas relacionadas con el tema de manera eficiente.

Fase III. Prueba Piloto del Ambiente Virtual de Aprendizaje

Esta fase de la investigación es el pilotaje del AVA, teniendo en cuenta los módulos que se diseñaron en la fase II, adicional a esto durante este proceso se aplicaron dos talleres en los que se buscaba realizar un sondeo acerca de los conocimientos adquiridos por la población de estudio. Las actividades se desarrollaron en los grupos de laboratorio y a cada grupo se le asigno un PFA diferente. De este modo la actividad I (ver Anexo 5) Consistió en la infografía en la que se solicitaba indagar sobre la historia, usos, clasificación, nomenclatura y propiedades fisicoquímicas de su PFA. La actividad II (ver anexo 6) estuvo orientada en torno a diseñar una normatividad que ajustara a las necesidades del país, y finalmente se aplicó una prueba final (ver anexo 7) esta prueba tiene congruencia con los módulos del AVA y a su vez con la prueba de diagnóstico.

Para el análisis de lo mencionado anteriormente se utilizó el software ATLAS TI. En su versión 22, para utilizar el software se realizó una codificación para organizar y categorizar información textual o multimedia de manera sistemática, extrayendo significados y patrones a partir de 295 códigos de los cuales 201 hacen referencia a los PFAS (Ver Anexo 8) y 94 hacen referencia al AVA (Ver Anexo 9) esto permitió extraer de los documentos la siguiente información:

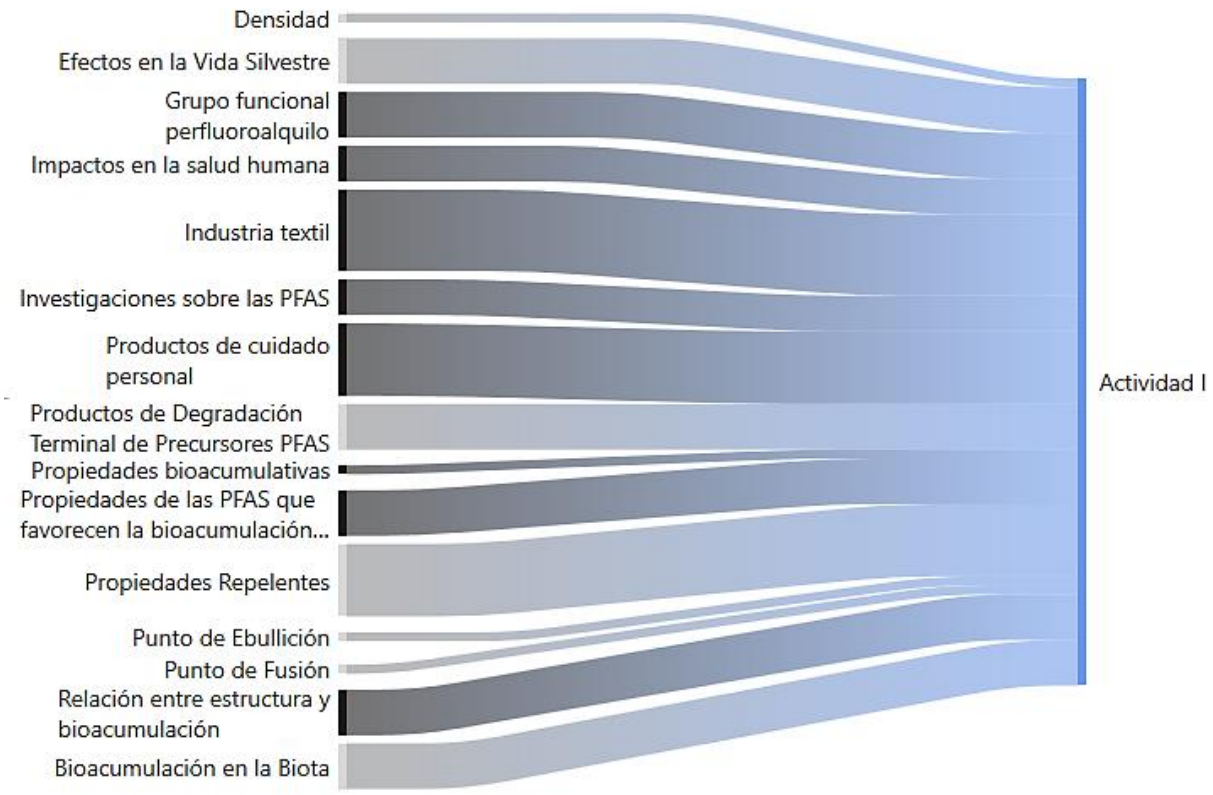
- Diagrama Sankey, es una herramienta que se utiliza para visualizar las relaciones entre códigos, citas y documentos.
- Nube de palabras, son representaciones visuales de la frecuencia de las palabras en un texto, permitiendo identificar rápidamente los temas y conceptos clave en los documentos.

ACTIVIDAD NÚMERO 1

Figura 15. Nube de Palabras Actividad Número 1

Fuente Elaboración propia

Figura 16. Diagrama Sankey Actividad Número 1 en relación con los PFAS



Fuente Elaboración propia

En el marco de la actividad número 1, la cual se plantea al finalizar el módulo 1 del AVA, se establecen tres metas de comprensión (MC) fundamentales para evaluar el grado de entendimiento de la población de estudio respecto a los PFAS. A continuación, se procede a examinar los resultados obtenidos y sus repercusiones para cada una de estas metas, a partide los resultados obtenidos en la nube de palabras (Figura 15) y el diagrama Sankey (Figura 16) y la revisión de los trabajos de la población de estudio.

MC1: Identificar el desarrollo inicial, los principales fabricantes y usuarios de PFAS a lo largo del tiempo.

Los resultados indican que, si bien la población de estudio pudo identificar el desarrollo inicial de los PFAS en su totalidad, hubo algunas deficiencias en la identificación específica del desarrollo del PFAS asignado a cada grupo. Esto sugiere que existe un entendimiento general sobre los PFAS, pero se requiere una mayor focalización en la investigación para comprender aspectos específicos de cada compuesto. Esta comprensión más detallada podría proporcionar información crucial sobre la evolución temporal y las aplicaciones industriales de los PFAS.

MC2: Clasificar los principales usos de las PFAS en diferentes sectores industriales.

Los resultados revelaron que la población de estudio demostró un claro entendimiento de los usos generales de los PFAS, incluyendo el PFAS asignado a cada grupo. Esto sugiere un nivel adecuado de conocimiento sobre las aplicaciones industriales de estos compuestos, lo que podría servir como base sólida para comprender su impacto en diversos sectores y su relevancia en la industria en general.

MC3: Comprender la estructura química general de las PFAS y sus subgrupos, la nomenclatura y las propiedades físico-químicas clave de las PFAS, como la persistencia, la bioacumulación y la toxicidad potencial.

Los resultados indican que la población de estudio logró comprender y clasificar los PFAS según su familia, considerando el grupo funcional al que pertenecen los

compuestos asignados. Este nivel de comprensión facilitó el reconocimiento de la nomenclatura y las propiedades físico-químicas clave de los PFAS, este entendimiento es crucial para evaluar el impacto ambiental y los riesgos asociados con los PFAS, lo que podría influir significativamente en la formulación de políticas y estrategias de gestión ambiental.

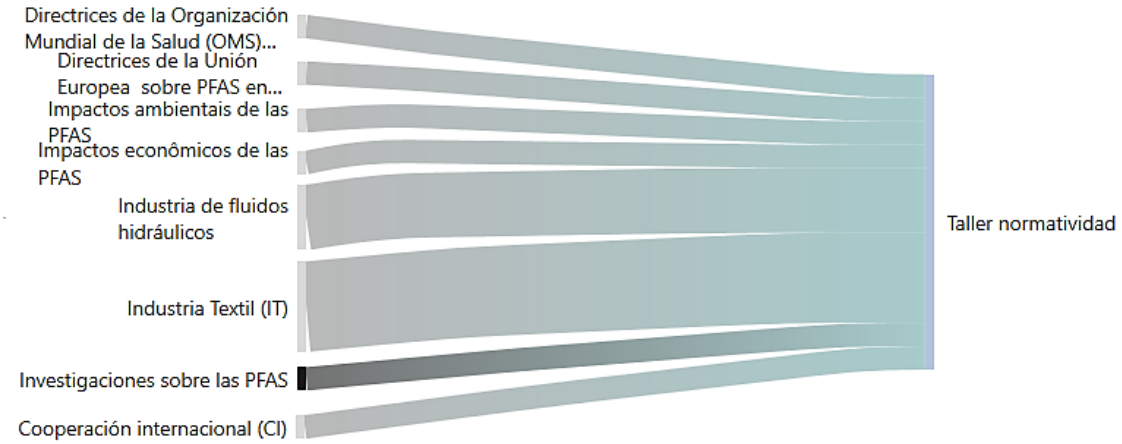
Debido a lo anterior se establece que la actividad I (desempeño para la compresión I) sugieren que las metas las metas de comprensión par el módulo 1 del AVA en el estudio sobre PFAS indica un nivel variable de entendimiento entre la población de estudio. Si bien se observa un buen conocimiento general sobre estos compuestos, hay áreas específicas que requieren una mayor atención y focalización en la investigación para lograr una comprensión más completa de su desarrollo, aplicaciones industriales y riesgos asociados. Estos hallazgos destacan la importancia de continuar investigando y educando sobre los PFAS para abordar eficazmente sus impactos en la salud humana y el medio ambiente.

ACTIVIDAD NÚMERO 2

Figura 17. *Nube de Palabras Actividad Número 2*

Fuente Elaboración propia

Figura 18. Diagrama Sankey Actividad Número 2 en relación con los PFAS



Fuente Elaboración propia

En el contexto de la actividad II, propuesta en el módulo 3 del AVA, se proponen tres metas de comprensión (MC) fundamentales para evaluar el nivel de entendimiento de los participantes respecto a la normativa internacional de los PFAS y la importancia de adoptar más medidas legales en el ámbito colombiano. A continuación, se procede a examinar los resultados obtenidos y sus repercusiones para cada una de estas metas, a partide los resultados obtenidos en la nube de palabras (Figura 17) y el diagrama Sankey (Figura 18) y la revisión de los trabajos de la población de estudio.

MC1: Desarrollar un marco regulatorio nacional integral para las sustancias PFAS para el año 2027. Los resultados muestran que la mayoría de los marcos regulatorios diseñados por los estudiantes se basaron en las regulaciones establecidas en el Convenio de Estocolmo, pero no se contextualizaron adecuadamente en el ámbito colombiano. Esto indica una falta de adaptación de las regulaciones internacionales a las necesidades y realidades específicas del país. Para alcanzar esta meta, es esencial desarrollar marcos regulatorios que consideren las condiciones socioeconómicas, ambientales y de salud de Colombia con relación a los PFAS.

MC2: Promover la adopción de una clasificación global armonizada de PFAS en foros internacionales como el Convenio de Estocolmo. Aunque todos los marcos regulatorios se basaron en las disposiciones del Convenio de Estocolmo, no se observaron esfuerzos significativos para promover nuevas estrategias a nivel internacional. Esto resalta la necesidad de una participación más activa en los foros internacionales para asegurar que las regulaciones se adapten a las necesidades y preocupaciones globales, incluyendo las particularidades de países en desarrollo como Colombia.

MC3: Prohibir o restringir el uso de PFAS en productos específicos, considerando su impacto en la salud humana y el medio ambiente. La mayoría de los marcos legales propuestos incluían restricciones al uso de PFAS, pero no proporcionaban alternativas viables para estos compuestos en el contexto colombiano. Esta falta de alternativas prácticas puede generar resistencia por parte de la industria, lo que obstaculizaría la implementación efectiva de las regulaciones. Por lo tanto, es esencial desarrollar y promover soluciones alternativas que sean económicamente viables y ambientalmente sostenibles para facilitar la transición hacia la eliminación o reducción del uso de PFAS.

Debido a lo anterior se establece que la actividad II (desempeño para la compresión II) sugieren que el análisis de las metas de comprensión en el desarrollo de marcos regulatorios para PFAS en Colombia resalta la necesidad de adaptar las regulaciones internacionales a las realidades del país, promover una participación más activa en foros internacionales y desarrollar alternativas prácticas para facilitar la implementación efectiva de las regulaciones. Estos hallazgos son fundamentales para abordar los riesgos asociados con los PFAS y proteger la salud humana y el medio ambiente en Colombia.

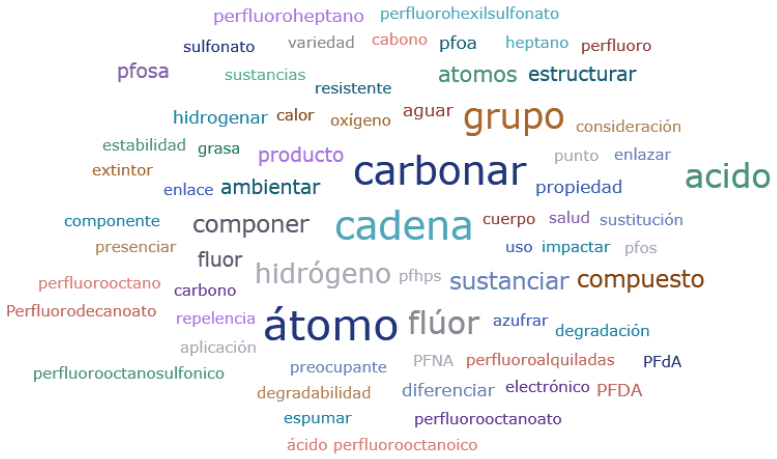
PRUEBA DE SALIDA

La prueba final fue diseñada para medir los temas abordados en el Ambiente Virtual de Aprendizaje (AVA), los cuales fueron concebidos a partir de los resultados obtenidos en la prueba diagnóstica inicial. Para evaluar el primer módulo, se seleccionaron las preguntas 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9 y 10. Para el segundo módulo, se

plantearon las preguntas 4 y 11. El tercer módulo fue evaluado mediante las preguntas 12, 13, 14 y 15. Respecto al cuarto módulo, se empleó la pregunta 16. Finalmente, las preguntas 17 a 20 se diseñaron para comprender cómo percibía la población estudiada el AVA (Ver Anexo 7) y determinar cómo esta herramienta contribuyó a sus procesos de aprendizaje, cumpliendo así con los objetivos de la investigación.

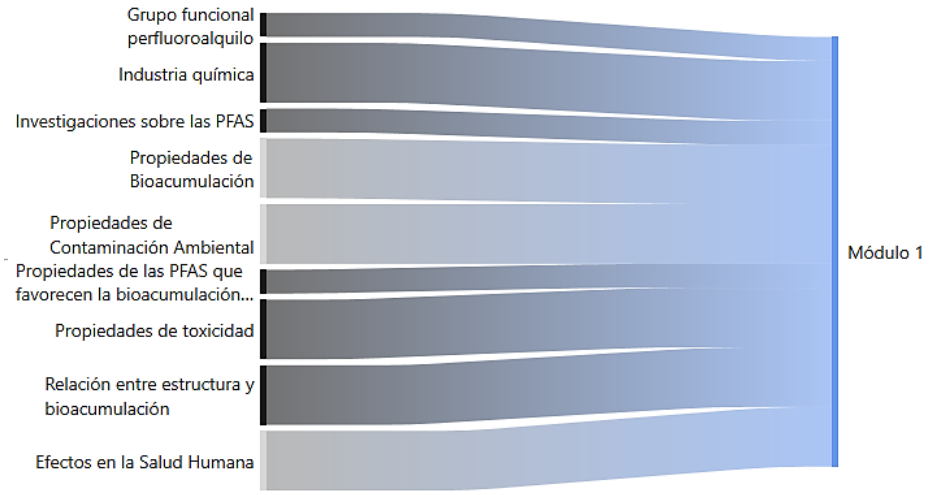
Módulo 1

Figura 19. Nube de Palabras modulo 1



Fuente Elaboración propia

Figura 20. Diagrama Sankey Modulo 1



Fuente Elaboración propia

Dentro del contexto de la prueba de salida, se han planteado preguntas para evaluar el módulo 1, con el propósito de determinar si se han cumplido las metas de comprensión (MC) establecidas. A continuación, se procede a analizar los resultados obtenidos y sus implicaciones para cada una de estas metas, basándose en los datos extraídos de la nube de palabras (Figura 19), el diagrama Sankey (Figura 20) y la revisión de las respuestas de la población estudiada.

MC1: Identificación del desarrollo inicial, principales fabricantes y usuarios de PFAS a lo largo del tiempo.

La investigación revela que los PFAS, entre ellos el perfluoroheptano y el perfluorohexilsulfonato, fueron sintetizados por primera vez en la década de 1940, marcando un hito crucial en su historia. Desde entonces, estos compuestos han encontrado una amplia variedad de aplicaciones en diversos sectores industriales, desde textiles hasta productos de consumo cotidiano. Además, al analizar el diagrama Sankey, se observa una evolución en la investigación de los PFAS, indicando un crecimiento constante impulsado por la búsqueda de nuevos usos y las preocupaciones sobre sus posibles impactos en la salud y el medio ambiente.

Esta meta de compresión refleja una comprensión profunda del desarrollo histórico de los PFAS, su difusión en diferentes industrias y la dinámica de investigación en torno a estos compuestos, lo que es esencial para contextualizar su relevancia en la actualidad.

MC2: Clasificación de los principales usos de las PFAS en diferentes sectores industriales.

El análisis detalla varios usos fundamentales de los PFAS en una variedad de sectores industriales, incluyendo la impermeabilización de tejidos, componentes de alfombras y tapicerías, revestimientos antiadherentes en utensilios de cocina, envases para alimentos, ingredientes en productos cosméticos y agentes en espumas contra incendios.

Estos usos, consistentes con la literatura revisada, ilustran la versatilidad de los PFAS en aplicaciones tanto industriales como de consumo, lo que resalta su

relevancia en múltiples contextos y su penetración en diversos productos y procesos.

MC3: Comprensión de la estructura química general de las PFAS y sus subgrupos, la nomenclatura y las propiedades físico-químicas clave.

El análisis proporciona una comprensión detallada de la estructura química de los PFAS y sus subgrupos, destacando los Perfluoroalquilosulfonatos (PFAS) y los Perfluoroalquilcarboxilatos (PFCA) como categorías principales. Además, se aborda la nomenclatura comúnmente aceptada para estos compuestos, demostrando la capacidad de la población de estudio para identificar y denominar estos compuestos según las convenciones establecidas. Por último, se analizan propiedades físico-químicas clave, como la hidrofilia, lipófila, resistencia al calor y capacidad de bioacumulación, aspectos cruciales para comprender su relevancia en diferentes contextos industriales y ambientales.

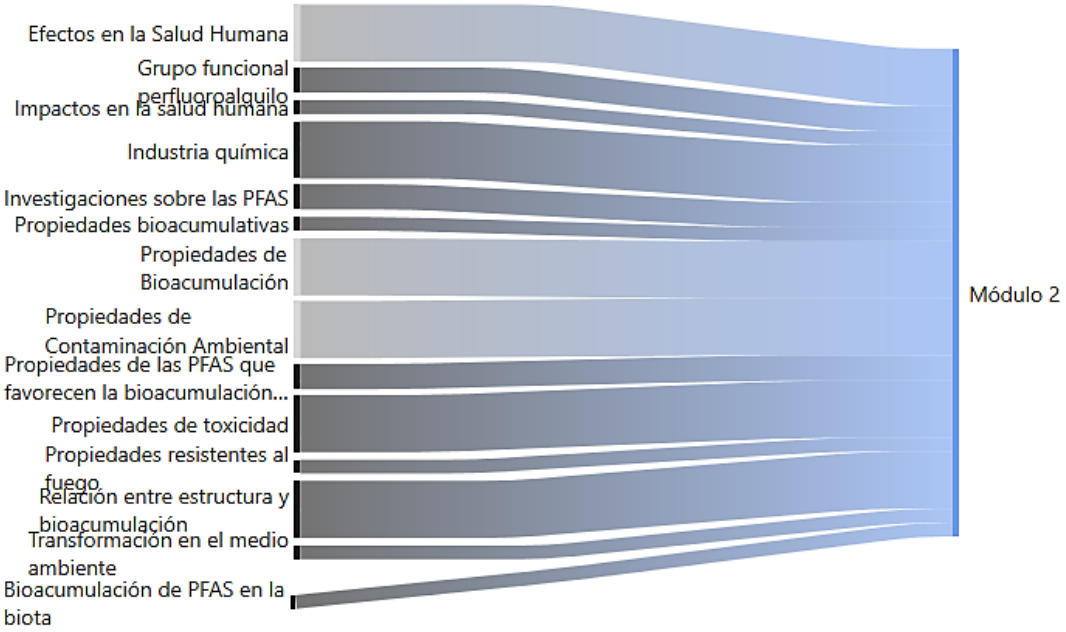
Se observa un cumplimiento casi completo en el análisis de cada una de las metas de compresión. Se ha logrado identificar el desarrollo histórico de los PFAS, clasificar sus principales aplicaciones industriales y ofrecer una comprensión detallada de su estructura química, nomenclatura y propiedades físico-químicas clave. A pesar de estos logros, es esencial considerar las deficiencias señaladas en los resultados obtenidos durante la actividad I.

Módulo 2

Figura 21. Nube de Palabras modulo 2

Fuente Elaboración propia

Figura 22. Diagrama Sankey Modulo 2



Fuente Elaboración propia

En el marco de la evaluación de la prueba de salida, se formularon preguntas destinadas a evaluar el módulo 2, con el fin de determinar si se han alcanzado las metas de comprensión (MC) establecidas. A continuación, se procede a analizar los

resultados obtenidos y sus implicaciones para cada una de estas metas, utilizando los datos extraídos de la nube de palabras (Figura 21), el diagrama Sankey (Figura 22) y la revisión de las respuestas proporcionadas por la población estudiada.
El análisis de la nube de palabras y el diagrama Sankey resaltan el impacto significativo de los PFAS en la biodiversidad y los ecosistemas, cumpliendo con la meta de comprensión MC1. Los PFAS representan una amenaza grave al contaminar el agua, el suelo y el aire, lo que directamente afecta a los ecosistemas acuáticos y terrestres. Además, su capacidad de bioacumulación en organismos vivos puede causar efectos devastadores en la vida silvestre, como la reducción en la reproducción y problemas de desarrollo.

Asimismo, se identifica el impacto de los PFAS en la biodiversidad y los ecosistemas, incluyendo su toxicidad para la vida acuática y terrestre, conforme a la meta de comprensión MC2. La relación establecida entre los términos clave encontrados y los efectos ambientales y en la salud animal y humana resalta la importancia de abordar la contaminación por PFAS. Se destaca que estos compuestos pueden tener impactos negativos en la vida silvestre, lo que repercute directamente en la biodiversidad y los ecosistemas.

Sin embargo, en relación con la meta de comprensión MC3, que busca desarrollar alternativas más seguras a los PFAS y promover su adopción en la industria, el texto y el diagrama no ofrecen información directa al respecto. Aunque se enfatiza la gravedad del impacto de los PFAS en la salud humana, la biodiversidad y los ecosistemas, se sugiere la urgente necesidad de buscar y promover alternativas más seguras a estos compuestos. No obstante, se señala que esta área podría beneficiarse de una exploración más detallada sobre investigaciones actuales o políticas que fomenten la adopción de alternativas a los PFAS en la industria.
Es crucial considerar que no se alcanzó un cumplimiento total de las Metas de Comprensión (MC) propuestas para este módulo. Esto se debe a la falta de un desempeño en la comprensión relacionado con dicho módulo. Por consiguiente, es de suma importancia diseñar una actividad que aborde esta carencia de

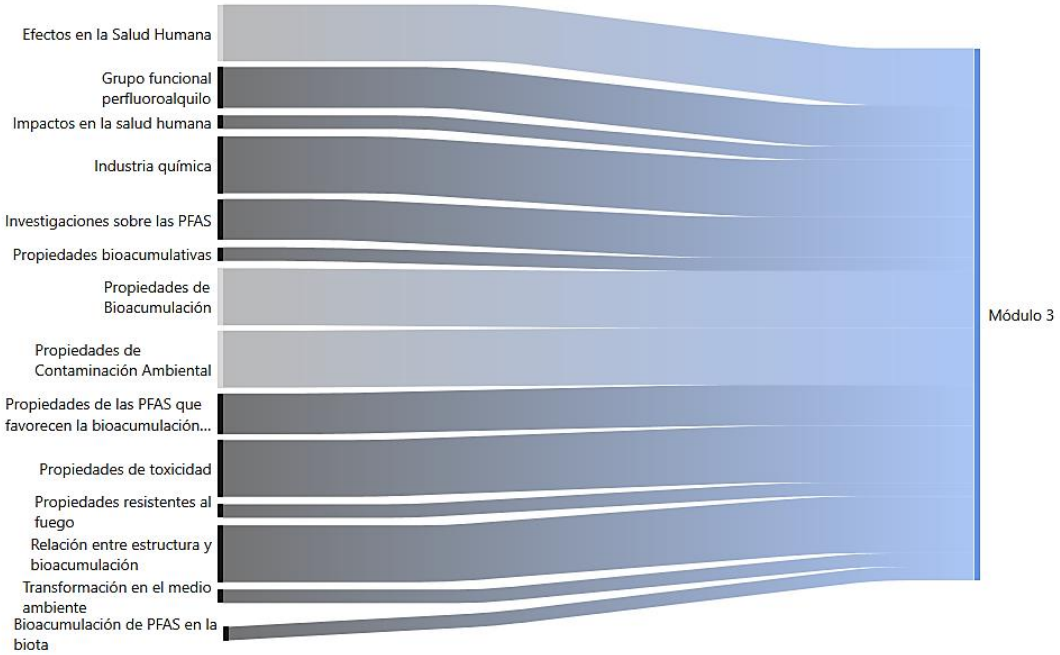
desempeño, lo que permitirá evaluar con mayor precisión tanto el cumplimiento de las MC como las deficiencias presentes en la población de estudio.

Módulo 3

Figura 23. Nube de Palabras modulo 3

Fuente Elaboración Propia

Figura 24. Diagrama Sankey Modulo 3



Fuente Elaboración propia

En el marco de la evaluación de la prueba de salida, se formularon preguntas destinadas a evaluar el módulo 3, con el fin de determinar si se han alcanzado las metas de comprensión (MC) establecidas. A continuación, se procede a analizar los resultados obtenidos y sus implicaciones para cada una de estas metas, utilizando los datos extraídos de la nube de palabras (Figura 23), el diagrama Sankey (Figura 24) y la revisión de las respuestas proporcionadas por la población estudiada.

MC1: El objetivo de desarrollar un marco regulatorio nacional integral para las sustancias PFAS para el año 2027 no se cumple según la información proporcionada. Aunque se observa una evolución en la regulación de los PFAS, con la promulgación o propuesta de diversas leyes y regulaciones, no se hace mención específica de un marco integral para el año establecido. Esto sugiere que, a pesar de los avances, aún queda trabajo por hacer para lograr esta meta dentro del plazo establecido.

MC2: La promoción de una clasificación global armonizada de PFAS en foros internacionales como el Convenio de Estocolmo es una meta que sebe reformularse pues se evidenció que no se cumple ya que es una meta que plateo un objetivo utópico. Si bien se menciona el Convenio de Estocolmo y su papel en la prohibición o restricción de ciertas sustancias químicas, incluidos algunos PFAS, no se detalla específicamente cómo se ha promovido una clasificación global armonizada de PFAS, por lo tanto, la realización de esta meta no puede ser determinada con certeza.

MC3: La prohibición o restricción del uso de PFAS en productos específicos, considerando su impacto en la salud humana y el medio ambiente, parece haber tenido cierto progreso según la información proporcionada. Aunque no se detallan prohibiciones o restricciones específicas en productos, se mencionan regulaciones existentes, como la Directiva 2006/122/CE de la Unión Europea, que limita el uso de ciertos PFAS en cosméticos. Este progreso sugiere que se han tomado medidas para restringir el uso de PFAS en algunos productos específicos, aunque se

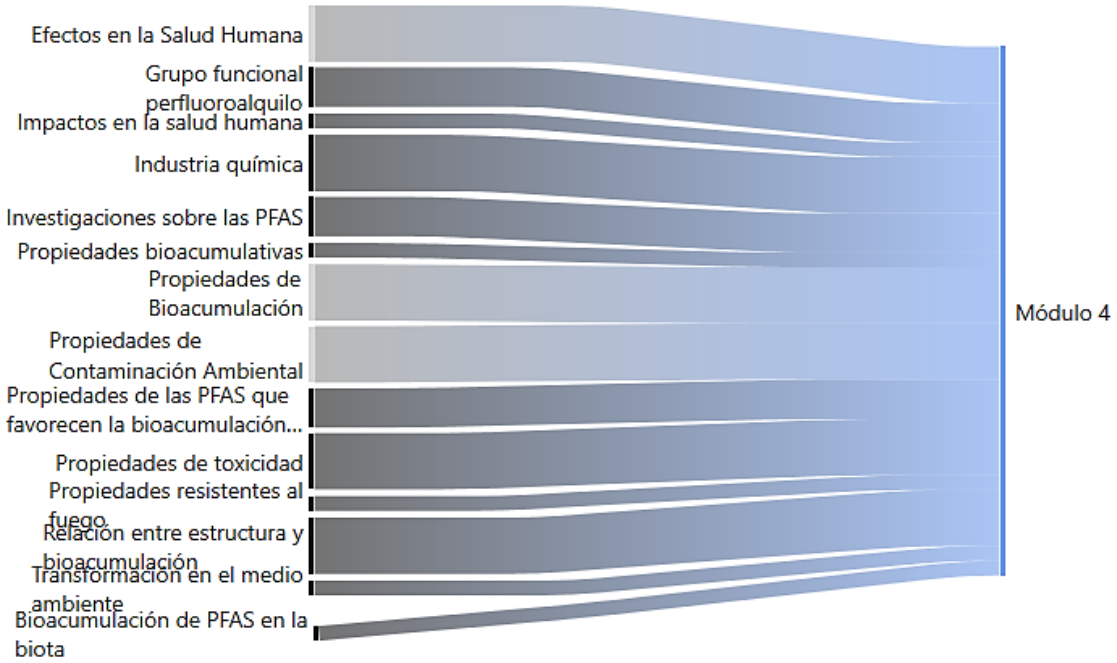
requieren más detalles para evaluar completamente el alcance de estas regulaciones.

Módulo 4

Figura 25. Nube de Palabras modulo 4

Fuente Elaboración propia

Figura 26. Diagrama Sankey Modulo 4



Fuente Elaboración propia

El presente análisis se centró en la evaluación de las metas de comprensión establecidas en el estudio respecto al método Draft 1633 de la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) para la cuantificación de PFAS en matrices de agua. Se han identificado tres metas principales de comprensión (MC) que se detallan a continuación:

MC1: El objetivo de esta meta es comprender los principios analíticos del método EPA 1633. La evaluación indica que esta meta ha sido cumplida de manera satisfactoria. Se destaca la descripción detallada del método EPA 1633 y sus componentes clave, como la extracción, el disco de filtro sólido, la elución y la cromatografía líquida de masas (LC-MS), lo cual proporciona una comprensión clara de los principios analíticos del método.

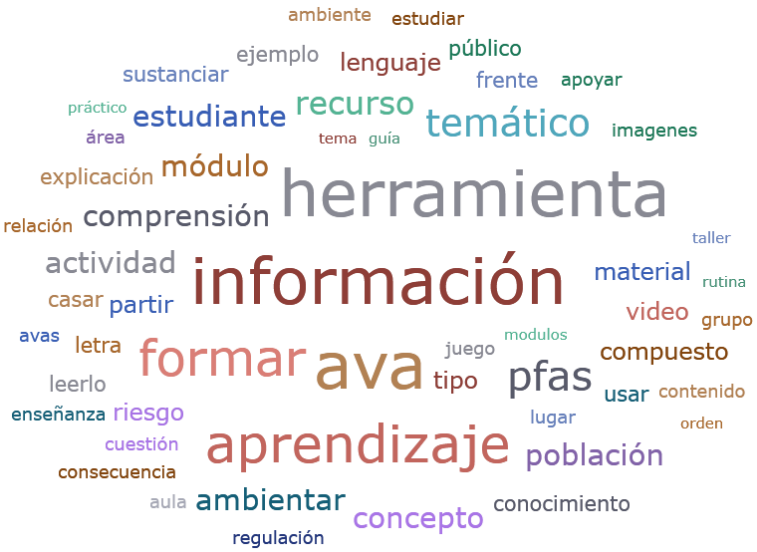
MC2: Esta meta se enfoca en caracterizar las implicaciones de los resultados en términos de la calidad del agua, la salud pública y los riesgos ambientales. La evaluación confirma que esta meta ha sido cumplida. Se menciona que el método EPA 1633 se aplica en diversos contextos, incluyendo el monitoreo de la calidad del agua potable, la investigación ambiental y los estudios de salud, lo que sugiere una comprensión adecuada de cómo los resultados obtenidos a través de este método pueden impactar en la calidad del agua, la salud pública y los riesgos ambientales.

MC3: La tercera meta tiene como objetivo identificar los PFAS de mayor interés ambiental y sanitario, considerando su toxicidad, persistencia y bioacumulación. La evaluación indica que esta meta está parcialmente cumplida. Aunque no se mencionan explícitamente los PFAS específicos de mayor interés, se proporciona información sobre la relevancia del método EPA 1633 en la detección y cuantificación de PFAS en matrices de agua. Se discuten sus aplicaciones en monitoreo ambiental y salud pública, lo que sugiere una comprensión general de la importancia de identificar PFAS relevantes.

Los resultados obtenidos han constatado que tanto la MC1 como la MC2 se han alcanzado de manera satisfactoria, lo que indica un entendimiento adecuado de los principios analíticos del método EPA 1633 y las implicaciones de sus resultados. No obstante, la MC3 presenta un cumplimiento parcial debido a la ausencia de una identificación explícita de los PFAS de mayor relevancia. A pesar de este hecho, se observa una comprensión general sobre la importancia de identificar y analizar los PFAS en términos de su impacto ambiental y sanitario. Esto se atribuye a la carencia de desempeños para la comprensión que guíen el cumplimiento de las metas establecidas.

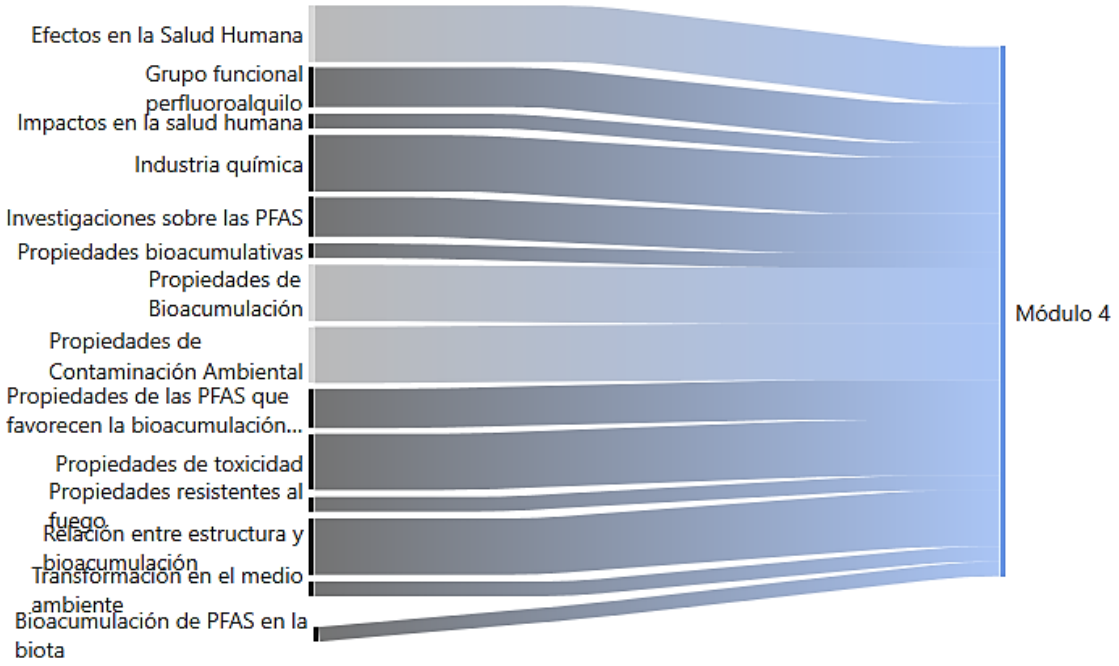
AVA

Figura 27. Nube de Palabras AVA



Fuente Elaboración propia

Figura 28. Diagrama Sankey AVA



Fuente Elaboración propia

La prueba piloto del Ambiente Virtual de Aprendizaje (AVA) centrado en las sustancias perfluoroalquiladas (PFAS) y su impacto en matrices de agua, así como en el medio ambiente y la salud humana, representa un esfuerzo significativo en la educación y concientización sobre un tema de gran relevancia. El AVA fue diseñado específicamente para abordar la problemática de los PFAS, cumpliendo con el tópico generativo establecido. Esto resalta la intención clara de centrarse en un área temática específica, lo cual es esencial para lograr un enfoque efectivo y detallado en el proceso educativo.

Al analizar la nube de palabras asociadas con el AVA, se revela una variedad de términos relevantes que muestran la amplitud y profundidad con la que se abordó el tema de los PFAS. Términos como contaminación, salud, medio ambiente, regulación, conciencia, investigación y alternativas sugieren que se exploraron diversos aspectos relacionados con los PFAS, lo que indica un enfoque integral y completo en el desarrollo del contenido educativo.

En cuanto a las metodologías de enseñanza empleadas, así como a las actividades, recursos y espacios de retroalimentación proporcionados, se evidencia un compromiso con el enfoque pedagógico de la Enseñanza para la Compresión (EpC). Este enfoque facilita el aprendizaje al proporcionar una variedad de herramientas y oportunidades para que los estudiantes adquieran conocimientos y desarrollen habilidades sobre el tema de los PFAS. La diversidad de métodos y recursos utilizados indica una consideración cuidadosa de las necesidades de aprendizaje de los estudiantes, lo cual es esencial para promover una comprensión profunda y significativa del tema.

El diagrama de Sankey utilizado para representar la estructura del AVA resalta la interconexión entre los diferentes componentes del ambiente virtual, como los módulos de aprendizaje, las actividades y los recursos. Esta representación visual ofrece una comprensión clara de cómo estos elementos se relacionan entre sí para contribuir al proceso de aprendizaje de los estudiantes sobre los PFAS. Además, se destaca el diseño flexible del AVA, que permitió que los estudiantes aprendieran a su propio ritmo y de la manera que mejor se adaptara a sus necesidades individuales. Esta característica es fundamental para garantizar la accesibilidad y la efectividad del aprendizaje, ya que reconoce y respeta la diversidad de estilos de aprendizaje y ritmos de los estudiantes.

CONCLUSIONES

La implementación del AVA permitió a los estudiantes adquirir un conocimiento profundo sobre los perfluoroalquilados (PFAS) en matrices de agua, comprendiendo tanto su impacto ambiental como las implicaciones para la salud humana. Esto se logró por el uso del AVA ya que facilitó el acceso a los materiales educativos y recursos adicionales en cualquier momento y lugar, aumentando la flexibilidad del proceso de aprendizaje. Por otra parte, la plataforma promueve una mayor interacción entre estudiantes y profesores, así como entre los propios estudiantes, fomentando un ambiente colaborativo y participativo que enriqueció la experiencia educativa.

El diseño del AVA bajo el modelo de la Enseñanza para la Comprensión (EPC) permitió desarrollar contenidos y actividades personalizadas que atendieron las necesidades educativas específicas de los estudiantes. Los estudiantes expresaron una alta satisfacción con el AVA, destacando su facilidad de uso y la calidad de los materiales educativos. La retroalimentación proporcionada permitió identificar áreas de mejora para futuras implementaciones.

El estudio ha destacado la importancia de comprender las concepciones iniciales de los estudiantes en el seminario de sistemas orgánicos II sobre los PFAS. La investigación ha revelado una diversidad de perspectivas y conocimientos previos que sirven como punto de partida fundamental para el diseño de estrategias pedagógicas efectivas. Al reconocer estas ideas previas, los educadores pueden adaptar sus métodos de enseñanza para abordar de manera efectiva la comprensión de esta temática y fomentar un aprendizaje más profundo y significativo en el campo de los compuestos orgánicos y sus implicaciones en el medio ambiente y la salud humana.

El desarrollo de un ambiente virtual de aprendizaje basado en el modelo de la Enseñanza para la Comprensión (EPC) para abordar los PFAS ofrece una oportunidad única para mejorar la comprensión y el compromiso de los estudiantes con este tema. Al integrar principios pedagógicos sólidos con tecnología innovadora, se crea un espacio de aprendizaje interactivo y accesible que promueve una comprensión duradera de los PFAS y sus implicaciones. Este enfoque no solo facilita la adquisición de conocimientos técnicos, sino que también fomenta habilidades de pensamiento crítico, resolución de problemas y conciencia ambiental. En última instancia, este ambiente virtual puede servir como un recurso invaluable tanto para educadores como para estudiantes, contribuyendo significativamente a la formación de individuos capacitados y comprometidos con la protección del medio ambiente y la salud pública.

En conclusión, el análisis de la prueba del ambiente virtual de aprendizaje en el ámbito de la enseñanza para la comprensión de los PFAS ha revelado tanto logros significativos como áreas susceptibles de mejora, ofreciendo una evaluación

completa de su efectividad como método educativo. Los resultados obtenidos resaltan la capacidad del entorno virtual para promover un aprendizaje significativo y una comprensión profunda de los PFAS, al tiempo que fortalecen habilidades de pensamiento crítico y conciencia ambiental en los estudiantes. Estos hallazgos respaldan la necesidad imperiosa de continuar avanzando en la integración de la tecnología y la pedagogía centrada en la comprensión para hacer frente a los desafíos complejos de la educación científica contemporánea, especialmente en el ámbito de la química ambiental. Es crucial destacar que esta problemática persiste a pesar de los avances en la materia, evidenciando una falta de interés por parte de la sociedad colombiana que requiere ser abordada con urgencia.

RECOMENDACIONES

Como parte integral de la tesis sobre los perfluoroalquilos sustancias (PFAS), es fundamental considerar la disposición de la población para participar en investigaciones relacionadas con este tema crucial. Dada la creciente preocupación pública y científica en torno a los PFAS y sus posibles impactos en la salud humana y el medio ambiente, es esencial evaluar la receptividad de la población hacia la investigación en esta área, recomienda realizar encuestas o entrevistas estructuradas para evaluar la disposición y el interés de la población en participar en investigaciones relacionadas con los PFAS. Estas investigaciones podrían abordar diversas dimensiones, como la percepción de riesgo, el nivel de conocimiento sobre los PFAS.

Para enriquecer la tesis y ofrecer una perspectiva más completa sobre los perfluoroalquilos sustancias (PFAS), se sugiere incorporar un módulo adicional sobre técnicas de remoción de PFAS en el ambiente virtual de aprendizaje. Dada la importancia creciente de abordar la contaminación por PFAS y la necesidad de soluciones efectivas, este módulo proporcionaría a los estudiantes una comprensión práctica de las estrategias disponibles para mitigar los impactos de estos compuestos en el medio ambiente y la salud humana. El módulo podría incluir contenido didáctico que aborde una variedad de técnicas de remoción de PFAS, como la adsorción con carbón activado, la oxidación avanzada, la

electrocoagulación, entre otras. Además, se podría proporcionar información sobre los principios fundamentales de cada técnica, sus ventajas y limitaciones, y ejemplos de su aplicación en entornos reales.

Finalmente se recomienda la creación de un dominio propio en lugar de depender de plataformas de terceros como Wix. Al tener un dominio propio, el ambiente virtual de aprendizaje tendrá un mayor control sobre el contenido y el diseño del sitio web, lo que permitirá una personalización más completa y una experiencia de usuario mejorada. Además, tener un dominio propio facilita el mantenimiento a largo plazo del sitio web y reduce la dependencia de plataformas externas que pueden cambiar sus políticas o términos de servicio en el futuro. Esto garantiza la estabilidad y la continuidad del acceso al contenido de la tesis para los lectores y usuarios interesados, si bien la creación de un dominio propio puede implicar costos adicionales y requerir un poco más de tiempo y esfuerzo inicial en comparación con el uso de plataformas de construcción de sitios web, los beneficios a largo plazo justifican esta inversión. Además, existen numerosos servicios de alojamiento web y registradores de dominios que ofrecen opciones asequibles y fáciles de usar para crear y gestionar un dominio propio.

REFERENCIAS

Aguirre Marín, A. F. (2018). *Repositorio UPN.* Descripción Moderada del Equilibrio Químico Implicado en las Reacciones ácido-Base: Medidaa por una Estategia Didáctica: http://repositorio.pedagogica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12209/10339/TO-23148.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Angel Cuartas, A. (Octubre de 2017). *Conceptualización de Ambientes Virtuales de Aprendizaje*. https://digitk.areandina.edu.co/bitstream/handle/areandina/768/Conceptualizaci%C3%B3n%20de%20Ambientes%20Virtuales%20de%20Aprendizaje.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cárdenas Suarez, L. (2014). *Repositoria Institucional UN*. Los neurotransmisores en el funcionamiento del cuerpo humano y las emociones. Propuesta didáctica para estudiantes de ciclo IV: https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/74939

CDC. (2022). *Las sustancias perfluoroalquiladas y polifluoroalquiladas (PFAS) y su salud*. Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades : https://www.atsdr.cdc.gov/es/pfas/index.html

Cifuentes Garzón, J. (2019). Aprendizaje del marco de la enseñanza para la comprensión en profesores: un abordaje desde las trayectorias de pensamiento. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte, 57*, 2.23. https://doi.org/ https://doi.org/10.35575/rvucn.n57a2

Delgado Pasaje, R. F. (2023). Ambiente Virtual de Aprendizaje, un constructo que requiere de práctica experimental desde lo tecnológico y lo científico Artículo de reflexión. *Revista Bio-grafía. Escritos sobre la Biología y su enseñanza, 16*. https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/bio-grafia/article/view/21347

EPA. (04 de octubre de 2023). Recursos, datos y herramientas de PFAS: https://www.epa.gov/pfas/pfas-resources-data-and-tools

EPA. (2023). *Información básica sobre PFAS*. Agencia de protección ambiental de Estados Unidos : https://espanol.epa.gov/espanol/informacion-basica-sobre-pfas

Espinoza López, I. (2023). El ambiente virtual estrategia de aprendizaje y evaluación auténtica del cálculo diferencial en la modalidad escolarizada-presencial. *Revista Mexicana de Investigación e Intervención Educativa, 2*(2), 27-33. https://pablolatapisarre.edu.mx/revista/index.php/rmiie/article/view/45/41

Interstate Technology and Regulatory Council (ITRC). (2017). Technical Resources for Addressing Environmental Releases of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS): https://pfas-1.itrcweb.org/

Leyva, C., Serrano, C., Rodríguez, A., Navarro, E., González, L., & Sánchez, E. (2021). CONTAMINANTES EMERGENTES: SUSTANCIAS

PERFLUOROALQUILADAS Y POLIFLUOROALQUILADAS (PFAS). *Impluvium, Publicación Digital de la Red del Agua UNAM Contaminantes emergentes en el agua: Causas y efectos*(17), 41-47. http://www.agua.unam.mx/assets/pdfs/impluvium/numero17.pdf

Liang, S.-H., Steimling, J. A., & Chang, M. (2023). Analysis of ultrashort-chain and short-chain (C1 to C4) per- and polyfluorinated substances in potable and non-potable waters. *Journal of Chromatography Open 4, 100098*(2). https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jcoa.2023.100098

Marín Marín, M. L., Rubio Clemente, A., & Peñuela, G. (2023). dvanced Oxidation Processes Used in The Treatment of Perfluoroalkylated Substances in Water. *Revista UIS Ingenierías, 22*(3), 135-150. https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistauisingenierias/article/view/14260/13138

Merchán Basabe, C. (2018). Modelamiento pedagógico de ambientes virtuales de aprendizaje (ava). *Tecné, Episteme y Didaxis: ted*(44), 51-70. https://doi.org/https://doi.org/10.17227/ted.num44-8989

Molina Vásquez, J. A. (2015). *Repsitorio Udistrital.* CARACTERIZACIÓN DEL MODELO PEDAGÓGICO ENSEÑANZA PARA LA COMPRENSIÓN EN EL LICEO INFANTIL THOMÁS DE IRIARTE: https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/2333/MolinaV%E0squezJudithAmparo2015.pdf?sequence=1

Otálora Soto, S. (2009). LA ENSEÑANZA PARA LA COMPRENSIÓN COMO ESTRATEGIA PEDAGÓGICA EN LA FORMACIÓN DE DOCENTES. *Revista Temas, 3*(3), 121-130. http://revistas.ustabuca.edu.co/index.php/TEMAS/article/viewFile/678/525

Pineda-Ávila, P., Botero-Buitrago, J., Hernández-Barbosa, R. & García-Martínez, Á. (2022). AVA en ciencias naturales: Una propuesta para su evaluación y selección. *Educación y Humanismo, 24(42),*, 255-274. https://doi.org/https://doi.org/10.17081/eduhum.24.42.5222

Ramírez Canon, A., Becerra Quiroz, A., & Herrera Jacquelin, F. (2022). Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFAS): First survey in water

samples from the Bogotá River, Colombia. *Environmental Advances, 8*. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100223

Rizo, M. L., Ayala Ramírez, S., Rosas Chávez, P., & Arreola, A. (2021). *El Diseño Instruccional Elemento clave para la Innovación en el Aprendizaje: Modelos y Enfoques.* Astra Ediciones S. A. de C. V. https://www.researchgate.net/profile/Suhey-Ayala-Ramirez/publication/352159435_El_Diseno_Instruccional_Elemento_clave_para_la_Innovacion_en_el_Aprendizaje_Modelos_y_Enfoques/links/60bbbb4c458515218f94b573/El-Diseno-Instruccional-Elemento-clave-para-la-Inn

Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la Investigación* (Sexta ed.). México: Mc Graw Hill Educatión. https://academia.utp.edu.co/grupobasicoclinicayaplicadas/files/2013/06/Metodolog%C3%ADa-de-la-Investigaci%C3%B3n.pdf

Stockholm Convention . (s.f.). PFAS enumerados en el Convenio de Estocolmo: https://chm.pops.int/Implementation/IndustrialPOPs/PFAS/Overview/tabid/5221/Default.aspx

Vázquez Recio, R. (2011). Enseñanza para la Compresión: el caso de la escual rural de Bolonia (Cádiz, España). *Revista Iberoamericana de Educación*(57), 183-202. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/39375522/La_ensenanza_para_la_comprension._El_caso_de_la_Escuela_Rural_de_Bolonia._Rosa_Vazquez-libre.pdf?1445623708=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DLa_ensenanza_para_la_comprension_El_caso.pdf&Expi

Wang, Z., DeWitt, J., Higgins, C., & Cousins, I. (2017). A Never-Ending Story of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs)? *Environmental Science & Technology, 51*(5), 2508-2518. https://doi.org/https://doi.org/10.1021/acs.est.6b04806

Yun, X., Kurz, M. J., Suri, R., y McKenzie, E. R. (2023). Un método de procesamiento de muestras QuEChERS modificado para la determinación de sustancias perfluoroalquiladas y polifluoroalquiladas (PFAS) en matrices biológicas

ambientales. *MethodsX, 11, 102290.* . https://doi.org/doi:10.1016/j.mex.2023.102290

ANEXOS

Anexó 1. Instrumento Inicial

Fecha de aplicación del instrumento: 16 de febrero de 2024

Tabla 7. Prueba Diagnóstica

PRUEBA DIAGNÓSTICA	
Tema	**Pregunta**
<u>Introducción y Contexto</u>	1. ¿Qué significa el acrónimo PFAS? 2. ¿Cuál es el nombre del PFAS más conocido? 3. ¿En qué año se comenzó a producir el PFOA? 4. ¿En qué países se han encontrado niveles altos de PFAS en el agua potable?
<u>Características y Propiedades de PFAS</u>	5. En la terminología "Per- y Polifluoroalquiladas", ¿qué indica el prefijo "Per-"? 6. ¿Qué tipo de impacto ambiental se ha asociado con la exposición a PFAS? 7. ¿Qué tipo de enlace químico es el principal responsable de las propiedades únicas de las PFAS? 8. ¿Cuál es una de las propiedades distintivas de las sustancias PFAS? 9. ¿Cuál de las siguientes propiedades NO es característica de las PFAS? 10. ¿Qué efectos adversos para la salud humana se han asociado a la exposición a sustancias PFAS?

	11. ¿Cómo pueden las sustancias PFAS afectar a los cuerpos de agua?
Distribución y Uso de PFAS	12. ¿Dónde es más probable encontrar PFAS? 13. ¿Qué tipo de enlace químico es el principal responsable de las propiedades únicas de las PFAS? 14. ¿Cuál de las siguientes aplicaciones NO utiliza PFAS debido a sus propiedades? 15. ¿Cómo se regula el uso de sustancias PFAS en algunos países?
Impacto Ambiental y en la Salud	16. ¿Qué tipo de impacto ambiental se ha asociado con la exposición a PFAS? 17. ¿Qué efectos adversos para la salud humana se han asociado a la exposición a sustancias PFAS? 18. ¿En qué niveles tróficos se encuentran las concentraciones más altas de PFAS en la cadena alimentaria? 19. ¿Qué significa el término "bioacumulación" en relación con las sustancias PFAS?

Anexó 2. Ambiente virtual de aprendizaje

Figura 29. Página de Inicio AVA

Figura 30. Módulo 1 AVA

Figura 31. Módulo 1 AVA Sección Historia PFAS

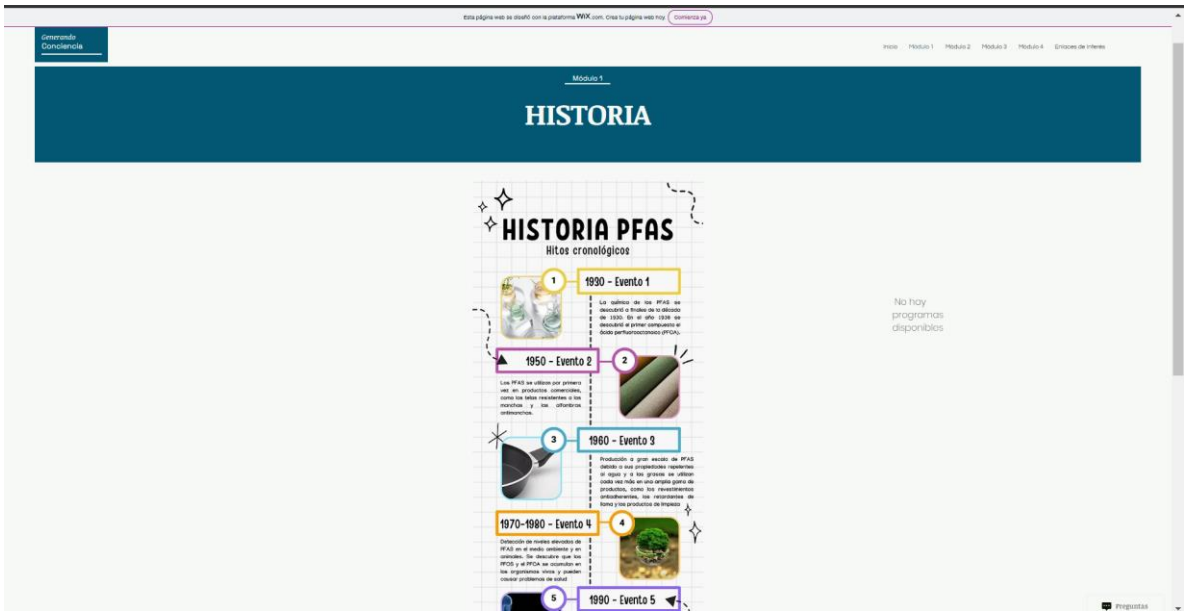


Figura 32. Módulo 1 AVA Sección Usos PFAS

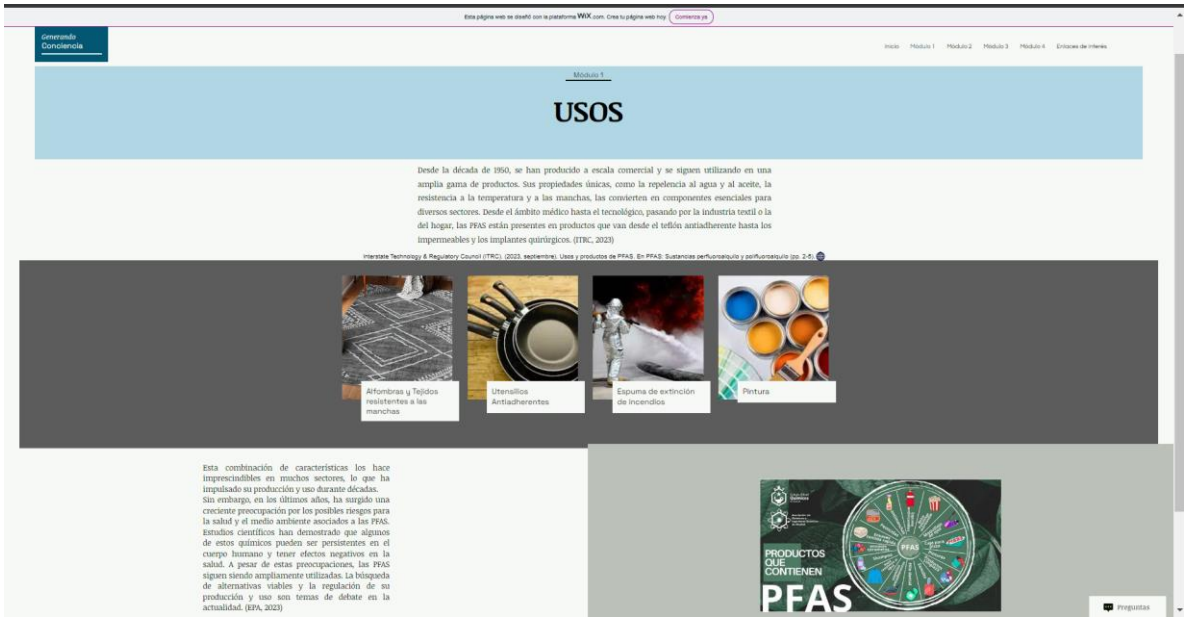


Figura 33. Módulo 1 AVA Sección Clasificación PFAS

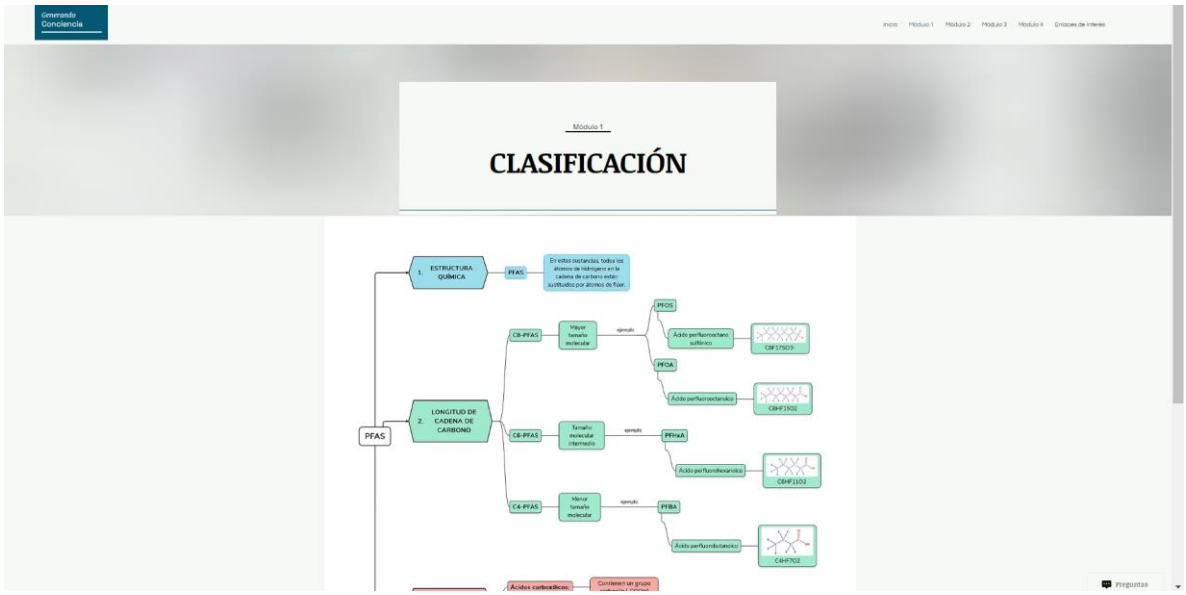


Figura 34. Módulo 1 AVA Sección Propiedades físico-químicas PFAS

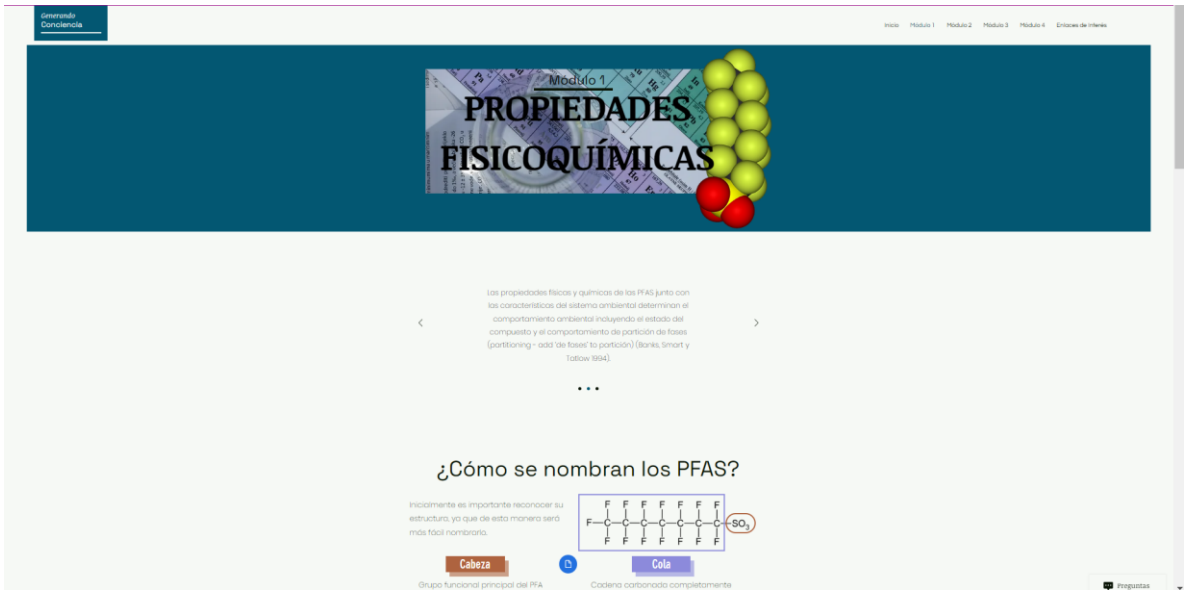


Figura 35. Modulo 2 AVA

Figura 36. Módulo 2 AVA Sección Consecuencias Ambiéntales PFAS

Figura 37. Módulo 2 AVA Sección Afecciones PFAS

Figura 38. Módulo 3 AVA

Figura 39. Módulo 4 AVA

Figura 40. Enlaces de Interés AVA

Anexó 3. Validación par académico 1

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA. DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

TRABAJO DE GRADO: ABORDAJE DE LA ENSEÑANZA PARA LA COMPRENSIÓN DE LAS SUSTANCIAS PER Y POLIFLUOROALQUILADAS DESDE UN AMBIENTE VIRTUAL DE APRENDIZAJE

Nicolás Guzmán Rivero
Paula Andrea Tejada Rincon
Dora Luz Gómez Aguilar

INSTRUMENTO PARA VALIDACIÓN POR PARES ACADÉMICOS

Estimado(a) docente, el trabajo evaluativo que usted realizará servirá de contribución al desarrollo del trabajo de grado titulado: ***ABORDAJE DE LA ENSEÑANZA PARA LA COMPRENSIÓN DE LAS SUSTANCIAS PER Y POLIFLUOROALQUILADAS DESDE UN AMBIENTE VIRTUAL DE APRENDIZAJE,*** para optar por el título de Licenciado en Química de la Universidad Pedagógica Nacional.

Para dar validez al ambiente virtual de aprendizaje diseñado se le solicita evaluar de manera general la herramienta con respecto a las categorías en una escala Likert, lea cada pregunta cuidadosamente y seleccione la respuesta que mejor refleje su opinión o experiencia. Responda todas las preguntas con honestidad y sinceridad. No hay respuestas correctas o incorrectas, por lo que no se preocupe por obtener una puntuación perfecta.

Escala

1. TD: Totalmente en desacuerdo
2. D: En desacuerdo
3. NDA: Ni en desacuerdo ni de acuerdo
4. A: De acuerdo
5. TA: Totalmente de acuerdo

Tabla 8. Instrumento para validación de pares académicos I

Nombre del Docente	Edward Alejandro Guevara Ortiz				
Categoría 1					
Diseño y organización del AVA					
Pregunta	**TD**	**D**	**NDA**	**A**	**TA**
La plataforma del AVA es fácil de usar y navegar.					X
Los contenidos del curso están bien organizados y estructurado.				X	
Los materiales y recursos del curso son claros, completos y relevantes para el aprendizaje.				X	
Las actividades y tareas del curso son variadas, motivadoras y promueven el aprendizaje activo.				X	
Categoría 2					
Soporte técnico y accesibilidad					
Pregunta	**TD**	**D**	**NDA**	**A**	**TA**
La plataforma del AVA es accesible y funciona correctamente desde diferentes dispositivos.				**X**	
Se cuenta con soporte técnico oportuno para resolver problemas con la plataforma o el acceso al curso.			**X**		
El AVA es compatible con las herramientas y recursos tecnológicos que utilizo habitualmente.					**X**
Categoría 3					
Relación con la temática central					
Pregunta	**TD**	**D**	**NDA**	**A**	**TA**
El ambiente virtual de aprendizaje me brindó información clara y precisa sobre las sustancias perfluoroalquiladas (PFAS).					**X**
Los materiales del curso fueron fáciles de entender y seguir.				**X**	

Las actividades del curso fueron relevantes para el tema de las PFAS y me ayudaron a aprender más sobre ellas.				**X**	
Los instructores del curso fueron conocedores del tema y pudieron responder a mis preguntas de manera satisfactoria.			**X**		
El ambiente virtual de aprendizaje me permitió interactuar con otros estudiantes y compartir experiencias sobre las PFAS.			**X**		
El curso me motivó a aprender más sobre las PFAS y sus impactos en la salud y el medio ambiente.					**X**
Los recursos adicionales proporcionados en el curso fueron útiles para profundizar en el tema de las PFAS.					**X**
El ambiente virtual de aprendizaje fue fácil de usar y navegar.					**X**
El diseño del curso fue atractivo y mantuvo mi interés durante toda la experiencia de aprendizaje.				**X**	
El curso me brindó las herramientas y conocimientos necesarios para tomar decisiones informadas sobre mi exposición a las PFAS.				**X**	
El curso me motivó a tomar medidas para reducir mi exposición a las PFAS.					**X**
Recomendaría este ambiente virtual de aprendizaje a otras personas que estén interesadas en aprender sobre las PFAS.					**X**
Considero que el ambiente virtual de aprendizaje me brindó una experiencia de aprendizaje valiosa sobre las PFAS.				**X**	
El curso me ayudó a comprender mejor los riesgos y peligros asociados con las PFAS.					**X**

Creo que el ambiente virtual de aprendizaje tiene el potencial de generar un impacto positivo en la sociedad al aumentar la conciencia sobre las PFAS y promover acciones para reducir la exposición a estas sustancias.				**X**	

Anexó 4. Validación par académico II

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA. DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

TRABAJO DE GRADO: ABORDAJE DE LA ENSEÑANZA PARA LA COMPRENSIÓN DE LAS SUSTANCIAS PER Y POLIFLUOROALQUILADAS DESDE UN AMBIENTE VIRTUAL DE APRENDIZAJE

Nicolás Guzmán Rivero
Paula Andrea Tejada Rincon
Dora Luz Gómez Aguilar

INSTRUMENTO PARA VALIDACIÓN POR PARES ACADÉMICOS

Estimado(a) docente, el trabajo evaluativo que usted realizará servirá de contribución al desarrollo del trabajo de grado titulado: ***ABORDAJE DE LA ENSEÑANZA PARA LA COMPRENSIÓN DE LAS SUSTANCIAS PER Y POLIFLUOROALQUILADAS DESDE UN AMBIENTE VIRTUAL DE APRENDIZAJE,*** para optar por el título de Licenciado en Química de la Universidad Pedagógica Nacional.

Para dar validez al ambiente virtual de aprendizaje diseñado se le solicita evaluar de manera general la herramienta con respecto a las categorías en una escala Likert, lea cada pregunta cuidadosamente y seleccione la respuesta que mejor

refleje su opinión o experiencia. Responda todas las preguntas con honestidad y sinceridad. No hay respuestas correctas o incorrectas, por lo que no se preocupe por obtener una puntuación perfecta.

Escala

1. TD: Totalmente en desacuerdo
2. D: En desacuerdo
3. NDA: Ni en desacuerdo ni de acuerdo
4. A: De acuerdo
5. TA: Totalmente de acuerdo

Tabla 9. Instrumento para validación de pares académicos II

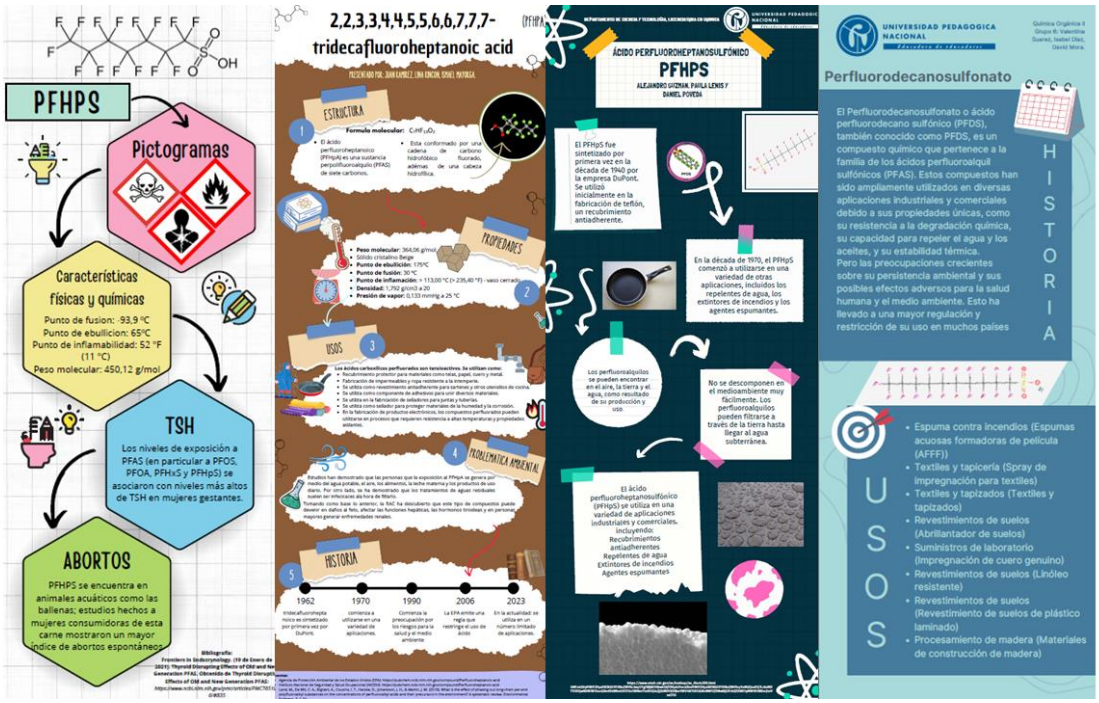
Nombre del Docente	Sebastián García				
Categoría 1					
Diseño y organización del AVA					
Pregunta	**TD**	**D**	**NDA**	**A**	**TA**
La plataforma del AVA es fácil de usar y navegar.					X
Los contenidos del curso están bien organizados y estructurado.				x	
Los materiales y recursos del curso son claros, completos y relevantes para el aprendizaje.					x
Las actividades y tareas del curso son variadas, motivadoras y promueven el aprendizaje activo.					x
Categoría 2					
Soporte técnico y accesibilidad					
Pregunta	**TD**	**D**	**NDA**	**A**	**TA**
La plataforma del AVA es accesible y funciona correctamente desde diferentes dispositivos.				**x**	
Se cuenta con soporte técnico oportuno para resolver problemas con la plataforma o el acceso al curso.			**x**		

El AVA es compatible con las herramientas y recursos tecnológicos que utilizo habitualmente.					**x**
Categoría 3					
Relación con la temática central					
Pregunta	**TD**	**D**	**NDA**	**A**	**TA**
El ambiente virtual de aprendizaje me brindó información clara y precisa sobre las sustancias perfluoroalquiladas (PFAS).					**x**
Los materiales del curso fueron fáciles de entender y seguir.					**x**
Las actividades del curso fueron relevantes para el tema de las PFAS y me ayudaron a aprender más sobre ellas.					**x**
Los instructores del curso fueron conocedores del tema y pudieron responder a mis preguntas de manera satisfactoria.		**x**			
El ambiente virtual de aprendizaje me permitió interactuar con otros estudiantes y compartir experiencias sobre las PFAS.		**x**			
El curso me motivó a aprender más sobre las PFAS y sus impactos en la salud y el medio ambiente.					**x**
Los recursos adicionales proporcionados en el curso fueron útiles para profundizar en el tema de las PFAS.				**x**	
El ambiente virtual de aprendizaje fue fácil de usar y navegar.				**x**	
El diseño del curso fue atractivo y mantuvo mi interés durante toda la experiencia de aprendizaje.				**x**	
El curso me brindó las herramientas y conocimientos necesarios para tomar decisiones informadas sobre mi exposición a las PFAS.				**x**	

El curso me motivó a tomar medidas para reducir mi exposición a las PFAS.					**x**
Recomendaría este ambiente virtual de aprendizaje a otras personas que estén interesadas en aprender sobre las PFAS.				**x**	
Considero que el ambiente virtual de aprendizaje me brindó una experiencia de aprendizaje valiosa sobre las PFAS.				**x**	
El curso me ayudó a comprender mejor los riesgos y peligros asociados con las PFAS.				**x**	
Creo que el ambiente virtual de aprendizaje tiene el potencial de generar un impacto positivo en la sociedad al aumentar la conciencia sobre las PFAS y promover acciones para reducir la exposición a estas sustancias.					**x**

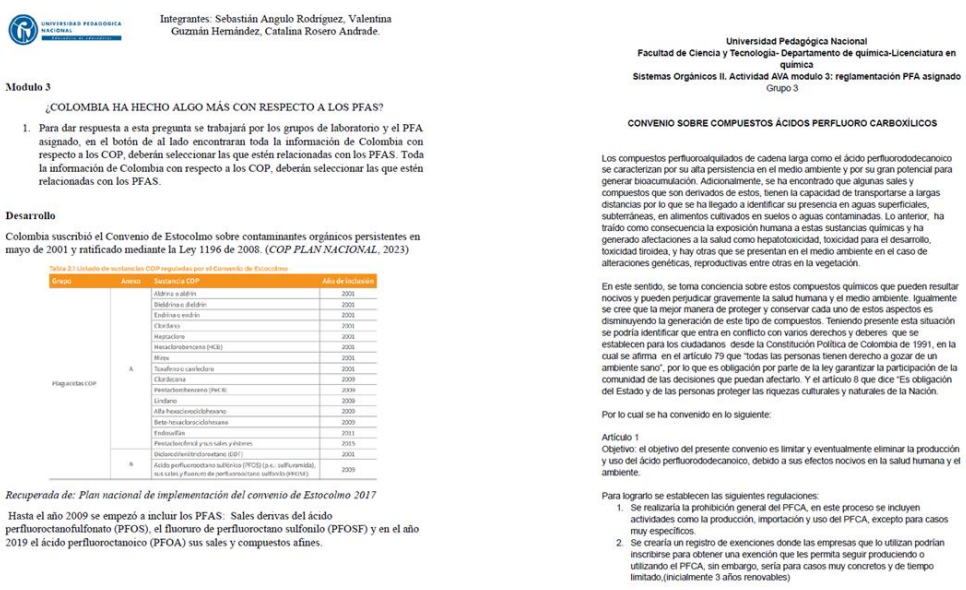
Anexó 5. Actividad Número 1

Figura 41. Evidencias Actividad Número 1



Anexó 6. Actividad Número 2

Figura 42. Evidencias Actividad Número 2



UNIVERSIDAD PEDAGOGICA NACIONAL

Integrantes: Sebastián Angulo Rodriguez, Valentina Guzmán Hernández, Catalina Rosero Andrade.

Modulo 3

¿COLOMBIA HA HECHO ALGO MÁS CON RESPECTO A LOS PFAS?

1. Para dar respuesta a esta pregunta se trabajará por los grupos de laboratorio y el PFA asignado, en el botón de al lado encontraran toda la información de Colombia con respecto a los COP, deberán seleccionar las que estén relacionadas con los PFAS. Toda la información de Colombia con respecto a los COP, deberán seleccionar las que estén relacionadas con los PFAS.

Desarrollo

Colombia suscribió el Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes en mayo de 2001 y ratificado mediante la Ley 1196 de 2008. (*COP PLAN NACIONAL*, 2023)

Tabla 2.1 Listado de sustancias COP reguladas por el Convenio de Estocolmo

Grupo	Anexo	Sustancia COP	Año de inclusión
Plaguicidas COP	A	Aldrina o aldrín	2001
		Dieldrina o dieldrín	2001
		Endrinas endrín	2001
		Clordano	2001
		Heptacloro	2001
		Hexaclorobenceno (HCB)	2001
		Mirex	2001
		Toxafeno o canfecloro	2001
		Clordecona	2009
		Pentaclorobenceno (PeCB)	2009
		Lindano	2009
		Alfa hexaciclohexano	2009
		Beta hexaciclohexano	2009
		Endosulfán	2011
		Pentaclorofenol y sus sales y ésteres	2015
	B	Diclorodifeniltricloroetano (DDT)	2001
		Ácido perfluorooctano sulfónico (PFOS) (p.e.: sulfluramida), sus sales y fluoruro de perfluorooctano sulfonilo (PFOSF)	2009

Recuperada de: Plan nacional de implementación del convenio de Estocolmo 2017

Hasta el año 2009 se empezó a incluir los PFAS: Sales derivas del ácido perfluoroctanofulfonato (PFOS), el fluoruro de perfluoroctano sulfonilo (PFOSF) y en el año 2019 el ácido perfluoroctanoico (PFOA) sus sales y compuestos afines.

Universidad Pedagógica Nacional
Facultad de Ciencia y Tecnología- Departamento de química-Licenciatura en química
Sistemas Orgánicos II. Actividad AVA modulo 3: reglamentación PFA asignado
Grupo 3

CONVENIO SOBRE COMPUESTOS ÁCIDOS PERFLUORO CARBOXÍLICOS

Los compuestos perfluoroalquilados de cadena larga como el ácido perfluorododecanoico se caracterizan por su alta persistencia en el medio ambiente y por su gran potencial para generar bioacumulación. Adicionalmente, se ha encontrado que algunas sales y compuestos que son derivados de estos, tienen la capacidad de transportarse a largas distancias por lo que se ha llegado a identificar su presencia en aguas superficiales, subterráneas, en alimentos cultivados en suelos o aguas contaminadas. Lo anterior, ha traído como consecuencia la exposición humana a estas sustancias químicas y ha generado afectaciones a la salud como hepatotoxicidad, toxicidad para el desarrollo, toxicidad tiroidea, y hay otras que se presentan en el medio ambiente en el caso de alteraciones genéticas, reproductivas entre otras en la vegetación.

En este sentido, se toma conciencia sobre estos compuestos químicos que pueden resultar nocivos y pueden perjudicar gravemente la salud humana y el medio ambiente. Igualmente se cree que la mejor manera de proteger y conservar cada uno de estos aspectos es disminuyendo la generación de este tipo de compuestos. Teniendo presente esta situación se podría identificar que entra en conflicto con varios derechos y deberes que se establecen para los ciudadanos desde la Constitución Política de Colombia de 1991, en la cual se afirma en el artículo 79 que "todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano", por lo que es obligación por parte de la ley garantizar la participación de la comunidad de las decisiones que puedan afectarlo. Y el artículo 8 que dice "Es obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación.

Por lo cual se ha convenido en lo siguiente:

Artículo 1
Objetivo: el objetivo del presente convenio es limitar y eventualmente eliminar la producción y uso del ácido perfluorododecanoico, debido a sus efectos nocivos en la salud humana y el ambiente.

Para lograrlo se establecen las siguientes regulaciones:
1. Se realizaría la prohibición general del PFCA, en este proceso se incluyen actividades como la producción, importación y uso del PFCA, excepto para casos muy específicos.
2. Se crearía un registro de exenciones donde las empresas que lo utilizan podrían inscribirse para obtener una exención que les permita seguir produciendo o utilizando el PFCA, sin embargo, sería para casos muy concretos y de tiempo limitado,(inicialmente 3 años renovables)

Anexó 7. Instrumento Final

Fecha de aplicación del instrumento: 22 de febrero de 2022

Tabla 10. Prueba de salida

PRUEBA DE SALIDA (RELACIONA LOS TEMAS DE LA PRUEBA INICIAL Y LOS MÓDULOS DEL AVA)	
Módulo	**Preguntas**
Módulo 1 (Historia, Usos, Clasificación, Nomenclatura y propiedades F-Q)	2 ¿Cómo se define una sustancia polifluoroalquilada? 3 ¿Dónde es más probable encontrar PFAS? 5 ¿Cuál de las siguientes propiedades NO es característica de las PFAS? 6 mencione 3 usos industriales que se le dan a los PFAS 7-10 Nombre el siguiente PFA
Módulos 2 (Consecuencias ambientales, Afecciones)	4 ¿Por qué las sustancias PFAS son conocidas por su persistencia ambiental? 11 ¿Qué impacto considera usted que ha tenido la regulación de los PFAS en la salud humana y el medio ambiente?
Módulo 3 (Normatividad)	12 ¿Cuáles son los desafíos para regular los PFAS? 13 ¿Existe una regulación específica para los PFAS en Colombia? 14 ¿En qué año el convenio de Estocolmo adiciono los PFAS en los Anexos A y B? 15 ¿Cuáles fueron los PFAS que añadió el convenio de Estocolmo en los Anexos A y B?

Módulo 4 (Cuantificación)	16 de acuerdo con el video encontrado en el módulo 4 mencione los aspectos más importantes de este
AVA	17 ¿Considera usted que el AVA (Ambiente Virtual de Aprendizaje) facilita su aprendizaje? 18 ¿Considera que el AVA (Ambiente virtual de Aprendizaje) es una herramienta útil para la enseñanza y el aprendizaje? 19 ¿Que cree usted que debería mejorarse en el AVA (Ambiente Virtual de Aprendizaje)? 20 ¿De qué manera un AVA (Aula Virtual de Aprendizaje) puede contribuir a la comprensión y manejo adecuado de las PFAS (sustancias perfluoroalquiladas y polifluoroalquiladas) por parte de la población general?

Anexó 8. Base para la codificación con relación a los PFAS

Tabla 11. Codificación PFAS

Sistema de categorías y codificaciones en Excel para ATLAS.ti	
Tema	Sustancias perfluoroalquiladas (PFAS)
Categoría	PFAS
Subcategoría	**Código**
Historia	• Orígenes y desarrollo de PFAS • Aplicaciones históricas de PFAS
Usos	• Usos industriales de PFAS

	• Usos comerciales de PFAS • Usos en productos de consumo
Propiedades fisicoquímicas	• Estructura molecular de PFAS • Propiedades fisicoquímicas relevantes • Persistencia y movilidad en el medio ambiente
Impacto Ambiental	• Contaminación ambiental por PFAS • Efectos en la biota y ecosistemas • Bioacumulación y biomagnificación
Impacto en la salud	• Efectos agudos y crónicos en la salud humana • Mecanismos de toxicidad • Poblaciones vulnerables
Regulaciones internacionales	• Convenios y tratados internacionales • Directrices y recomendaciones internacionales • Estándares internacionales de calidad ambiental
Regulación en Colombia	• Legislación nacional sobre PFAS

	• Normas y estándares colombianos • Lineamientos y políticas públicas

Anexó 9. Base para la codificación en relación con el AVA

Tabla 12. Codificación AVA

Sistema de categorías y codificaciones en Excel para ATLAS.ti	
Tema	Ambiente Virtual de Aprendizaje
Categoría	AVA
Subcategoría	**Código**
Aplicación	• Facilidad de navegación por el AVA • Diseño intuitivo de la interfaz • Claridad en la organización de los contenidos • Accesibilidad para usuarios con diferentes habilidades tecnológicas
Diseño y organización	• Adecuación del diseño visual al tema de las PFAS • Atractivo y motivador para los participantes • Organización lógica de los módulos y unidades • Coherencia entre los diferentes elementos del AVA

Recursos y materiales didácticos	• Variedad de recursos (textos, imágenes, vídeos, etc.) • Calidad y pertinencia de los contenidos • Efectividad de los materiales para facilitar el aprendizaje • Adecuación de los recursos al nivel de los participantes
Actividades de aprendizaje	• Diversidad de actividades (individuales, colaborativas, etc.) • Fomento de la participación y el aprendizaje experiencial • Evaluación del logro de los objetivos de aprendizaje • Relevancia de las actividades para el aprendizaje sobre las PFAS
Aspectos técnicos	• Funcionamiento correcto del AVA • Estabilidad y confiabilidad de la plataforma • Accesibilidad desde diferentes dispositivos y navegadores • Soporte técnico disponible para los usuarios
Satisfacción del usuario	• Percepción positiva de la experiencia de aprendizaje en el AVA

	• Valoración de la utilidad del AVA para aprender sobre las PFAS • Recomendación del AVA a otros usuarios • Motivación para continuar aprendiendo sobre las PFAS
Impacto en el aprendizaje	• Adquisición de conocimientos sobre las PFAS • Desarrollo de habilidades para comprender y analizar información sobre las PFAS • Fomento de actitudes responsables hacia el medio ambiente y la salud • Empoderamiento para tomar decisiones informadas sobre las PFAS
Accesibilidad	• Disponibilidad de recursos en diferentes formatos (texto, audio, vídeo, etc.) • Adaptación del AVA a las necesidades de usuarios con discapacidades • Traducción de contenidos a diferentes idiomas • Consideración de la diversidad cultural y social