

**APRENDIZAJE DE LA CROMATOGRFÍA DE GASES MEDIANTE EL USO DE
UN MOOC EN EL MARCO DE LAS CATIONES SINTÉTICAS**

Laura Kathalina Pardo Cortes
Michel Samanta Pinilla Sierra
Daniela Zaldúa Gómez

Universidad Pedagógica Nacional
Facultad de Ciencia y Tecnología
Licenciatura en Química
Bogotá D.C.
Agosto de 2024

APRENDIZAJE DE LA CROMATOGRAFÍA DE GASES MEDIANTE EL USO DE UN MOOC EN EL MARCO DE LAS CATINONAS SINTÉTICAS

Laura Kathalina Pardo Cortes

Michel Samanta Pinilla Sierra

Daniela Zaldúa Gómez

Universidad Pedagógica Nacional

Departamento de Química

Facultad de Ciencia y Tecnología

Licenciatura en química

Semillero Chimeia

Trabajo de grado

Director: Rodrigo Rodríguez Cepeda, Químico MSc, MBA, Dr.

Codirector: William Garzón Méndez.

Químico MSc. Perito de la fiscalía general de la Nación,

Departamento de criminalística, Grupo de química.

Agradecimientos

Querido Dios, te agradecemos con todo nuestro corazón por habernos permitido alcanzar esta meta tan importante en nuestras vidas. Tu amor, sabiduría y fortaleza nos acompañaron en cada paso de nuestro camino académico. Gracias por iluminar nuestra mente, por darnos perseverancia y por rodearnos de personas que nos apoyaron en momentos de dificultad. Tu bendición ha sido nuestra guía y fuerza, y hoy celebramos con humildad y gratitud este logro que es también tuyo. Que este logro sea solo el comienzo de una vida llena de salud y propósitos. Amén.

Agradecemos profundamente a nuestras familias, por su amor incondicional, apoyo y sacrificios que nos permitieron llegar hasta aquí. A nuestros padres, por su guía, comprensión y aliento constante para no desvanecer ante las adversidades. A nuestros hermanos por su paciencia, comprensión y amor que nos brindaron durante este proceso. Y a nuestra familia extendida, por su apoyo y motivación que nos ayudaron a superar los desafíos. Ustedes han sido nuestro refugio, motivación y mayor apoyo en este logro.

Agradecemos a la Universidad Pedagógica Nacional por brindarnos una formación académica de alta calidad que nos permitió crecer profesionalmente como licenciadas en química y a los docentes que nos orientaron durante nuestra formación.

Un agradecimiento especial a nuestro director Rodrigo Rodríguez Cepeda, por su orientación experta, apoyo incondicional y motivación constante a lo largo de la investigación. Su guía sabia y experiencia en el campo nos permitieron crecer como investigadoras. Su disponibilidad para discutir ideas, proporcionar retroalimentación constructiva y celebrar nuestros logros nos fueron de gran ayuda en momentos de duda y celebración. Gracias por creer en nuestras capacidades y acompañarnos en este proceso de crecimiento académico.

Agradecemos al Semillero de investigación Chimeía-ACS Student Chapter por fortalecer nuestras habilidades como investigadoras, explorar nuestras pasiones y sobre todo por la confianza depositada en nosotras para desarrollar proyectos y contribuir al avance del conocimiento.

Agradecemos a William Garzón por su experiencia y conocimiento en el campo de la química que nos fueron de gran ayuda para enriquecer nuestra tesis.

Agradecemos al equipo de trabajo del laboratorio de la Universidad Pedagógica Nacional, especialmente a Lina Sánchez por su buena disposición en la enseñanza del manejo del equipo de cromatografía de gases.

Finalmente, un agradecimiento a nosotras por compartir momentos de estudio, investigación y crecimiento. Fuimos compañeras de camino, amigas y hermanas en esta travesía académica. Juntas celebramos nuestros logros y superamos los obstáculos. Esta dedicación es para nosotras que hicimos que este proceso fuera más llevadero y gratificante. ¡Gracias por ser increíbles!

Tabla de contenido

1. Introducción.....	7
2. Justificación.....	10
3. Planteamiento del problema.....	12
4. Objetivos	14
4.1. General.....	14
4.2. Específicos	14
5. Antecedentes	15
5.1. Desde la enseñanza de las catinonas.....	15
5.2. Desde la aplicación de MOOC	16
5.3. Desde la bioinformática	18
5.4. Desde la cromatografía de gases en la enseñanza.....	20
5.5. Desde el aprendizaje basado en problemas	21
5.6. Desde el aprendizaje autónomo	22
6. Marco Teórico	23
6.1. Drogas Sintéticas o Nuevas Sustancias Psicoactivas	23
6.2. Generalidades de las catinonas	23
6.3. Mecanismo Molecular de Acción	24
6.4. Cromatografía de Gases.....	26
6.5. Bioinformática.....	29
6.6. Massive Online Open Courses (MOOC)	29
7. Metodología	33
7.1. Población.....	34
7.2. Formulación de Hipótesis	34
7.3. Fases de Investigación	35
7.3.1. Identificación de los conocimientos previos	35
7.3.2. Diseño y aplicación del MOOC.....	35
7.3.3. Análisis de la efectividad del MOOC	37
8. Resultados y discusión	38
8.1. Identificación de los conocimientos previos	38
8.1.1. Cromatografía	38

8.1.2. Conocimientos de bioinformática	45
8.1.2. Sustancias Psicoactivas	55
8.2. Diseño y aplicación del MOOC	57
8.2.1. Diseño del MOOC	57
8.2.1.1. Módulo introductorio	58
8.2.1.2. Módulo sustancia psicoactivas	59
8.2.1.3. Módulo bioinformática	60
8.2.1.4. Módulo cromatografía	61
8.2.1.5. Módulo desarrollo del método	62
8.2.1.6. Módulo retroalimentación	67
8.2.2. Validación del MOOC	67
8.2.3. Aplicación del MOOC	69
8.2.3.1. Introducción	69
8.2.3.2. Sustancias psicoactivas	73
8.2.3.3. Bioinformática	74
8.2.3.4. Cromatografía	79
8.3. Análisis de la efectividad del MOOC	81
8.3.1. Análisis prueba final	82
8.3.2. Análisis cuantitativo SPSS	100
8.3.1.1. Correlación paramétrica y no paramétrica prueba diagnóstica con la prueba final	101
8.3.1.2. Correlación no paramétrica actividades de bioinformática con la prueba final ...	103
8.3.1.3. Correlación no paramétrica actividades sustancias psicoactivas con la prueba final	104
8.3.1.4. Correlación paramétrica y no paramétrica actividades cromatografía de gases con la prueba final	106
9. Conclusiones y recomendaciones	109
10. Referencias bibliográficas	112
11. Anexos	117

1. Introducción

El presente trabajo de grado está orientado en el aprendizaje autónomo de los conceptos básicos de cromatografía de gases mediante el uso de un Massive Open Online Courses (MOOC) en el contexto de las nuevas sustancias psicoactivas (NSP), específicamente las catinonas sintéticas, el cual abarca la técnica y principio de la cromatografía de gases, una aproximación a la validación del método analítico y cuantificación de las catinonas, bajo una metodología de investigación mixta con un enfoque cuasi experimental, mediante el modelo pedagógico de aprendizaje basado en problemas (ABP), en el cual, el estudiante es el actor principal en la construcción de su conocimiento.

El MOOC se desarrolló bajo un modelo pedagógico de aprendizaje basado en problemas con base en una historieta que presenta la muerte de un joven universitario, misterio que el estudiante resuelve durante el desarrollo del curso. En consecuencia, a esto, se motivó al estudiante en la participación del curso, pues el aprendizaje está centrado en el estudiante a través de situaciones de la vida real y además construye su conocimiento de forma autónoma.

El diseño del MOOC permite relacionar los conocimientos construidos dado que, una vez identificada la catinona sintética mediante la técnica de cromatografía de gases se articuló con el uso de herramientas bioinformáticas para explicar el mecanismo de acción en el sistema nervioso central (SNC) cuando se consumen catinonas sintéticas como, por ejemplo, la metilona o la butilona. Con esta propuesta didáctica, se buscó favorecer el aprendizaje autónomo. Por lo tanto, la evaluación de la eficacia del MOOC es una variable que requiere ser analizada para favorecer la construcción de conocimientos.

Actualmente, los recursos tecnológicos han permitido ofrecer estrategias didácticas en el contexto educativo, como los Cursos en Línea Masivos y Abiertos (MOOCs) para la enseñanza y el aprendizaje de las distintas áreas del conocimiento. De acuerdo con el autor Mulet (2021), el primer MOOC fue el curso de conectivismo y conocimiento colectivo organizado por George Siemens y Stephen Downes en la universidad de Manitoba en Canadá en el año 2008, en esta época los MOOCs no tuvieron tanto éxito puesto que, estaba limitado a un público en específico, en realidad el término MOOC fue acuñado por Dave y Bryan. Sin embargo, en el

año 2012 empieza el auge de los cursos masivos online con una innovación tecnológica en la educación dirigida a un gran público.

Por tanto, el MOOC diseñado e implementado, se dirigió a estudiantes de licenciatura en química y carreras afines, registrados en semestres avanzados, así como estudiantes de posgrado o profesionales de estas áreas que pretendan reforzar sus conocimientos.

Por otra parte, la problemática de las sustancias psicoactivas fue considerada como un buen contexto para la enseñanza de conceptos básicos de cromatografía, toda vez que es un tema de interés para la población a la cual se dirige el MOOC, teniendo en cuenta que, la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC) (2021), menciona que, en América Latina, el Caribe y otras regiones, se ha venido expandiendo las nuevas sustancias psicoactivas (NSP) a partir del año 2014. Las catinonas sintéticas son un subgrupo de las NSP con semejanzas químicas de los derivados anfetamínicos, que por su variedad estructural dificultan la detección analítica, mecanismo de acción e información toxicológica. En Colombia en el año 2013 aparecen las catinonas sintéticas como la metilona y etilona, en donde empiezan a desencadenarse varios derivados a partir de la Catina, molécula principal con actividad estimulante proveniente de la planta Khat. En este sentido, la técnica de cromatografía de gases aporta en la detección y cuantificación de estas, a través de un ejercicio de aprendizaje que articula la técnica y el fundamento, dando aportes de información analítica, mecanismo de acción e información toxicológica.

De acuerdo con lo planteado anteriormente, el presente documento resume en 6 capítulos los resultados obtenidos en la investigación. Por lo que en el primer capítulo se presentan los antecedentes, en el cual se encuentran los trabajos de investigación realizados en los últimos diez años, alrededor de las problemáticas e innovaciones relacionadas a la enseñanza de la cromatografía de gases, enseñanza de sustancias psicoactivas, aplicación de un MOOC, bioinformática y el aprendizaje autónomo.

En el segundo capítulo se encuentra un marco teórico en el cual se describen los principales fundamentos de la cromatografía de gases, bioinformática, NPS, Massive Open Online Courses (MOOC), generalidades de las catinonas sintéticas y su mecanismo de acción, aprendizaje

basado en problemas y el aprendizaje autónomo. Posteriormente, está el tercer capítulo que describe la metodología de investigación que se aplicó en el diseño e implementación del MOOC; en el cuarto capítulo se presentan los resultados y análisis de la investigación a partir de categorías, criterios de evaluación y el uso de softwares como Atlas.Ti y SPSS para su respectiva interpretación. El quinto capítulo presenta las conclusiones y recomendaciones, donde se destaca la relevancia de los resultados sobre la efectividad del MOOC en el aprendizaje de la cromatografía de gases, así como las implicaciones para futuras investigaciones, y finalmente en el sexto capítulo se encuentran las referencias bibliográficas usadas para consolidar el presente trabajo.

2. Justificación

Las ciencias naturales específicamente la química y las áreas afines se han caracterizado por ser complejas, donde el estudio de estas disciplinas requiere investigación, aprendizaje y tecnología, siendo necesario analizar los recursos empleados durante el aprendizaje. El MOOC es una herramienta tecnológica que ofrece una alternativa de innovación en el proceso de aprendizaje de forma abierta y gratuita, diferente a los recursos utilizados en un aprendizaje tradicional, centrado en la autonomía y disposición del estudiante por aprender.

No obstante, las personas aprenden de forma diferente y el uso del MOOC puede ser efectivo en el aprendizaje autónomo de la cromatografía de gases. La aplicación de MOOC's es importante dado que, actualmente la educación en Latinoamérica está pasando por procesos de transformación, incorporando nuevas tecnologías con el objetivo de fortalecer la enseñanza-aprendizaje, para potenciar la expansión del conocimiento de forma interactiva. En el año 2020 llegó el COVID-19 y muchos sectores se vieron afectados como el de la educación, para lo cual se recurrió a herramientas tecnológicas que mitigaran el impacto de una educación presencial. Sin embargo, esto tuvo tantos cambios positivos como negativos, por un lado, no todas las personas tienen acceso a los recursos digitales y a una educación 100% virtual, lo que puede conllevar a no generar aprendizajes de acuerdo con la forma de aprender de cada individuo, creando una desigualdad en el sector educativo.

Por otro lado, de acuerdo con el artículo publicado por Ponce y Ruelas (2021), hubo un crecimiento exponencial de los cursos masivos online siendo un reto ofrecer contenidos y aprendizajes de calidad, los MOOC's dan otra perspectiva de aprendizaje, permite recordar cosas y potencializar el trabajo de forma autodidacta.

Según Mineducación (2013), reconoce la importancia de las TIC como apoyo en los aprendizajes de ambientes virtuales, donde deben ser alternativos e innovadores y debe contribuir a la gestión del conocimiento, al desarrollo de competencias y la formación integral. Los MOOC's se encuentran en proceso de desarrollo, las instituciones de educación superior (IES) que implementen el modelo de los MOOC's para el desarrollo del plan de estudios deben

analizar la pertinencia respecto al proyecto educativo institucional (PEI), generar lineamientos institucionales para su implementación y dar respuesta al plan de estudios. (p. 47-48)

En este sentido, es importante analizar la efectividad que tiene un MOOC en el aprendizaje de la cromatografía de gases a través de la temática de las nuevas sustancias psicoactivas (NSP), específicamente las catinonas sintéticas, para generar un aprendizaje autónomo que articule los conocimientos de cromatografía de gases con la bioinformática y las NSP, lo cual permite que el MOOC no solo abarque la técnica de la cromatografía de gases, si no por el contrario ofrece una perspectiva hacia la prevención e información (NSP), ya que el consumo se ha incrementado en los últimos años en Colombia como lo menciona la UNODC (2021), lo cual generó un número creciente de intoxicaciones graves por consumo de éxtasis que contiene catinonas sintéticas como etilona y alfa-PVP. Además, todas las variaciones que puede presentar la estructura hacen que sea difícil la información toxicológica y el control en el consumo.

El trabajo de grado surge desde el proyecto de investigación DQU 059-S-24 del Semillero de investigación χημεία (Chimeía): “Enseñanza-aprendizaje de la bioquímica en el contexto de los productos naturales” financiado por el CIUP, ya que, este tiene como objetivo el desarrollo de habilidades de indagación e investigación para la escritura científica y el diseño de material didáctico. Para la enseñanza y aprendizaje de temas relacionados con la bioinformática, las sustancias psicoactivas y no menos importante los métodos analíticos como la cromatografía de gases.

3. Planteamiento del problema

En la actualidad, la química es una rama de las ciencias naturales considerada abstracta y con un alto nivel de dificultad, la comunidad científica reconoce que la bioquímica, una subdisciplina de la química, abarca temas complejos, los cuales, tradicionalmente, han sido enseñados mediante una metodología memorística. Este enfoque ha resultado en un bajo rendimiento académico y una desmotivación por el aprendizaje (Rodríguez y Cortés, 2021). Por esta razón, el aprendizaje es un proceso que debe ser acompañado de estrategias didácticas que contribuyan a la comprensión y construcción de los conocimientos de los estudiantes.

En consecuencia, esta ciencia requiere un amplio desarrollo en el aspecto didáctico para mejorar los procesos de aprendizaje de manera efectiva. Por consiguiente, el MOOC es un recurso didáctico que puede ser efectivo en el aprendizaje de la técnica analítica de cromatografía de gases puesto que, el manejo de la técnica analítica requiere de elementos como habilidades, conocimientos, aplicaciones y destrezas. Además, la cromatografía de gases es ampliamente utilizada en diversas áreas de la ciencia, desempeña un papel importante en la separación, identificación y cuantificación de compuestos químicos.

En este sentido, cuando una persona aprende sobre la técnica de cromatografía de gases puede presentar obstáculos en el aprendizaje, de tal manera que la comprensión y los conocimientos se dificultan. Por consiguiente, un MOOC es un apoyo para el estudiante que desee de forma autónoma e interactiva fortalecer el aprendizaje. Asimismo, es un recurso importante e innovador porque, al realizar una revisión bibliográfica sobre el aprendizaje de la cromatografía, se encontró que no hay una investigación centrada en el aprendizaje de esta técnica analítica, sino por el contrario existen artículos e investigaciones con un enfoque más disciplinar de lo técnico, conceptual y experimental.

El desarrollo de MOOC's se ha venido incrementando en las diversas disciplinas gracias a las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en un mundo cambiante y globalizado. No obstante, hay carencia de MOOC's que estén centrados en el aprendizaje de la cromatografía de gases y que además tenga un valor agregado de conectar y construir

conocimientos con otros campos como la bioinformática y las sustancias psicoactivas. Por lo cual, es pertinente evaluar la efectividad de este recurso didáctico.

Esta carencia plantea un desafío significativo en la formación de estudiantes y profesionales en este campo, lo que limita el aprendizaje y no permite aprovechar el potencial de la educación en línea para proporcionar un aprendizaje flexible y accesible. Por consiguiente, un MOOC puede ofrecer flexibilidad en el aprendizaje y facilitar la difusión de la información para construir conocimientos de forma integral ya que, se pueden combinar elementos teóricos con ejercicios prácticos y simulaciones, con el fin de beneficiar estudiantes, investigadores y profesionales en áreas afines a la química

Teniendo en cuenta lo anterior, se plantea la siguiente pregunta problema:

¿Cuál es la efectividad del uso de un MOOC para el aprendizaje de la cromatografía de gases en estudiantes del ciclo de profundización de carreras afines a la química en el contexto de las sustancias psicoactivas?

4. Objetivos

4.1. General

Evaluar la efectividad de un MOOC en el aprendizaje autónomo de la cromatografía de gases en el contexto de las catinonas sintéticas y sus efectos psicoactivos, enfocado en estudiantes universitarios del ciclo de profundización de carreras afines a la Química.

4.2. Específicos

- Identificar los conocimientos previos de la población objeto de estudio frente a la cromatografía de gases y su relación con la bioinformática.
- Diseñar e implementar un MOOC enfocado en el aprendizaje autónomo de la cromatografía de gases en el contexto de las catinonas sintéticas y sus efectos psicoactivos a través del ABP.
- Analizar la efectividad del MOOC en el aprendizaje autónomo de la cromatografía de gases.

5. Antecedentes

5.1. Desde la enseñanza de las catinonas

A partir de una búsqueda de tesis en bases de datos de revistas indexadas y repositorios universitarios en un periodo del 2013 al 2023 no se evidenciaron estudios que implementen estrategias didácticas para enseñar cromatografía de gases en el contexto de las catinonas sintéticas. Sin embargo, las investigaciones de cuantificación e identificación de sustancias psicoactivas están centradas en el desarrollo de métodos analíticos y no en un compuesto en específico. No obstante, estudios previos han demostrado la efectividad de estrategias didácticas como la revisión de conceptos a través de la geometría molecular y el aprendizaje basado en problemas (ABP) para la enseñanza y prevención del consumo de sustancias psicoactivas. Lo anterior muestra la importancia de abordar el ABP y la construcción de conceptos como recursos didácticos para aprender en el contexto de las sustancias psicoactivas.

Martínez (2021), en su tesis de maestría realizó una investigación acerca del uso de los conceptos de la geometría molecular para la enseñanza del efecto de las sustancias psicoactivas, utilizando una secuencia didáctica para abordar los conceptos de la geometría molecular con el fin de enseñar los efectos a nivel neuroquímico de las sustancias psicoactivas, resaltando un aprendizaje activo que evita la transmisión del conocimiento y que se relaciona con la vida cotidiana.

Cabe resaltar que el trabajo de investigación menciona que en la mayoría de las actividades implementadas en el aula de clases se realizan con enfoques didácticos tradicionales, generando una percepción en la enseñanza como un proceso ordenado y lineal de exposición de contenidos. Sin embargo, de esta manera no se garantiza la calidad, motivación y un significado para los estudiantes. Cuando se implementó el modelo molecular mediante el ABP los estudiantes generaron aprendizaje significativo sobre las características, efectos y comportamiento de algunas sustancias psicoactivas. lo cual permitió poner a prueba conocimientos previos y habilidades para construir nuevos aprendizajes que articula elementos de observación, interés, análisis y creatividad.

Este antecedente refleja la importancia de generar nuevos enfoques didácticos que se salgan de un sistema tradicional, de la misma manera un MOOC ofrece otra alternativa de aprender más autónoma y flexible que motive al estudiante a generar nuevos aprendizajes, además aporta estudios en la pertinencia de este recurso didáctico para aprender la cromatografía de gases.

Por otro lado, ante el creciente consumo de sustancias psicoactivas en los jóvenes y pese al reto para las instituciones educativas para mitigar y prevenir esta problemática, Silva et al. (2018), publicaron un artículo para la revista Iberoamericana en la Universidad de Santander, en donde propusieron una intervención educativa basada en la neurociencia y el aprendizaje basado en proyectos (ABP). Sus hallazgos, obtenidos a través de una metodología cuantitativa correlacional, sugieren que al proporcionar a los estudiantes conocimientos claros sobre los mecanismos de adicción y los riesgos asociados al consumo, es posible prevenir el impacto negativo de las sustancias psicoactivas. Asimismo, la integración de las TIC y el trabajo en proyectos resultó clave para hacer más atractivo y efectivo el proceso de aprendizaje.

Este antecedente presenta una perspectiva hacia la prevención, a través de la implementación de un aprendizaje basado en proyectos, esto evidencia que el uso de estrategias didácticas innovadoras no sólo aporta conocimientos, sino por el contrario puede llegar a ser tan significativo que entre más claro se tenga los conocimientos se puede promover una toma de decisiones más informada en cuanto a los riesgos y consecuencias del consumo. Por ello, la integración de herramientas bioinformáticas en un MOOC puede contribuir a que los estudiantes visualicen de manera interactiva, a través de los mecanismos de acción, los efectos de las sustancias en el sistema nervioso central.

5.2. Desde la aplicación de MOOC

Una alternativa del modelo educativo tradicional es el uso de MOOC, con el fin de generar aprendizajes y superar dificultades en los conocimientos, Gómez et al. (2014) diseñó y desarrolló un MOOC como estrategia para el aprendizaje propedéutico de la química, es decir un conjunto de conocimientos que son necesarios para el estudio previo de una disciplina, con el objetivo de nivelar a los estudiantes para que accedan a estudios universitarios, a través de

un modelo de curso de preparación del aprendizaje de la química gratuito, masivo y cooperativo en la plataforma UPV(X) de la Universidad Politécnica de Valencia, sin embargo hay autores como Poy y González (2014), que manifiestan la reflexión crítica sobre aspectos como la interactividad y la viabilidad económica del MOOC.

Para realizar un MOOC es importante tener en cuenta el diseño y la gestión del curso, donde la tecnología juega un papel crucial. Es esencial crear diversas interfaces sin limitarse a una transmisión de información. En este caso, las actividades del curso en línea fueron diseñadas para estudiantes de nuevo ingreso en la universidad, abordando temas de química introductoria organizados en unidades didácticas. Cada unidad contiene varias lecciones y objetivos específicos. Durante el curso, participaron un total de 1825 estudiantes, de los cuales el 70% completó el curso y el 25% aprobó el examen. Dado que, el 20% llegó a la última unidad didáctica y el estudiante podía decidir si seguir con el curso o no hacerlo, por ello la diferencia entre los registrados, los que continúan y los que realizan el examen final. Se destaca que el curso resultó ser de fácil manejo para la mayoría de los estudiantes. El principal motivo para participar en el curso fue el querer aprender y completar sus estudios. Además, la organización y delimitación de las actividades fueron factores clave para el éxito del curso. La mayoría de los estudiantes, un 83%, expresó sentirse a gusto y haber superado sus expectativas.

En este sentido, el MOOC como estrategia de aprendizaje de conocimientos químicos tuvo un impacto positivo ya que, hubo interés y finalización del curso, además los estudiantes se sienten a gusto bajo esta modalidad, reflejaron una mejoría en los conocimientos previos para poder tomar un curso disciplinar más avanzado, es decir que permite generar bases para fortalecer conocimientos, de esta manera un MOOC enfocado en la cromatografía de gases puede cubrir vacíos técnicos y conceptuales en los estudiantes que deseen profundizar en la química instrumental y analítica.

Adicionalmente, evaluar la pertinencia de las actividades y contenidos del MOOC es de vital importancia para promover un aprendizaje de calidad y efectivo, con respecto a esto Jamebozorg (2022), en el artículo titulado “la efectividad de cursos masivos abiertos en línea (MOOC’s) en el desarrollo de procesos pedagógicos y psicológicos: una síntesis temática”, encontró en su investigación a partir del análisis de 125 artículos en inglés y 15 en persa el

impacto significativo de los MOOC's en la educación y en el aprendizaje, donde los respectivos datos cualitativos se analizaron con el programa MAXQDA 2010.

El estudio estuvo basado en la eficiencia de los MOOC's en el desarrollo de procesos pedagógicos y psicológicos con base en pruebas empíricas internacionales, la eficiencia de los MOOC's incluyen eficacia en el aprendizaje, la educación y la psicología. Por otra parte, se evidenció que los estudiantes manejan los aprendizajes a su propio ritmo y además refuerzan la independencia y la autoeficiencia. En cuanto a los conocimientos, facilitan la percepción de conceptos de acuerdo con el estilo de aprender del estudiante, las tareas son sencillas y desarrollan el pensamiento cognitivo, además hay una gestión emocional-conductual en el entorno del aprendizaje, la evaluación es colectiva desde la perspectiva en que el estudiante se siente a gusto al estar en la posición de prueba.

La efectividad de MOOC también resalta la relación entre las estructuras de los conocimientos previos y los nuevos, mejora en las capacidades de alfabetización digital, aumento de la autoestima, se mitiga las brechas educativas y las desigualdades. Lo anteriormente mencionado, refleja la importancia y efectividad que tienen los MOOC's en los procesos de aprendizaje.

5.3. Desde la bioinformática

Mendoza (2017), realizó su tesis en maestría en toxicología con el objetivo de analizar la composición química de las drogas DOC (4-cloro-2,5-dimetoxianfetamina), 25B-NBOMe (2-(4-bromo-2,5-dimetoxifenil)-N-[(2-metoxifenil)metil]etanamina) y 25C-NBOMe (2-(4-cloro-2,5-dimetoxifenil)-N-[(2-metoxifenil)metil]etanamina) incautadas durante seis meses en el año 2016 en las ciudades de Bogotá y Barranquilla, para determinar los descriptores moleculares que explican la permeabilidad a la barrera hematoencefálica (BHE), utilizando métodos de modelación in silico, cromatografía de gases con espectrometría de masas, acoplamiento molecular “docking” y empleando software como QuBiLS-MIDAS y Chromeleon V 7.1, con el fin de construir un modelo QSPR (Quantitative Structure Property Relationships), en el que se desarrolló relaciones entre la información química y las propiedades de la sustancias; y en donde se evaluaron los factores asociados a la permeabilidad de la BHE en las nuevas

sustancias psicoactivas (p.5). En el trabajo desarrollado se concluye que el uso de estos métodos y software, son aptos para desarrollar un modelo QSPR, por consiguiente, se explica la permeabilidad de la BHE, a partir del uso de métodos in silico en el campo de la toxicología de drogas de abuso.

En el contexto del análisis de sustancias psicoactivas, la bioinformática desempeña un papel importante en la identificación, caracterización y análisis de las moléculas que se encuentran en estos compuestos, para así mismo reconocer su mecanismo de acción en el cerebro que deriva los posibles síntomas de la SPA consumida. Por ello, en el diseño de un MOOC, la bioinformática puede ser una herramienta útil para desarrollar cursos interactivos y efectivos, además facilitará el desarrollo de actividades en torno a conceptos relacionados a las sustancias psicoactivas y otros, como la cromatografía de gases.

Por otro lado, Mora (2023) realizó su proyecto de investigación con la finalidad de evaluar las implicaciones didácticas de la bioinformática en la comprensión del dogma central de la biología molecular, a través del uso del software Python Prescripción para identificar el potencial de acoplamiento de los ligandos a la enzima, es decir, la homologación de resultados con las moléculas de naturaleza alcaloide presentes en la semilla de papaya y comparar los resultados de ubicación y energía de afinidad entre las moléculas. En consecuencia, identifica que el uso de herramientas bioinformáticas con los estudiantes, contribuyen en el interés de los estudiantes, ya que tienen información más específica y detallada sobre secuencias genéticas y proteicas (p.76)

Teniendo en cuenta lo anterior, la incorporación de herramientas bioinformáticas en un MOOC enfocado en la cromatografía de gases, representan una contribución en la enseñanza, ya que la integración de estos tres referentes, permitirán aportar en las investigaciones enfocadas en los problemas de la enseñanza y aprendizaje de la química analítica y la bioquímica. Asimismo, enriquecerá la enseñanza al proporcionar a los participantes acceso a recursos didácticos, de tal manera que se fomente la comprensión más profunda y práctica de la cromatografía de gases más dinámica y participativa, lo que a su vez mejorará la capacidad de aplicar estos conocimientos en aplicaciones prácticas en el campo de la química y afines.

5.4. Desde la cromatografía de gases en la enseñanza

Sánchez (2022), realizó su tesis de maestría en Docencia de la química, la cual está enfocada en identificar las habilidades procedimentales que desarrolló un grupo de profesionales en química (ingeniero, técnicos, químicos y licenciados) mediante el abordaje de situaciones problema asociadas a la técnica de separación, en este caso cromatografía de gases y su fundamento en la evaluación como forma de aprender. Se realizó una rúbrica de evaluación, enfocada, en la evaluación de las unidades del Diplomado en Química Analítica Instrumental ofrecido por Khymos, al cual estos profesionales debían aplicar (p. 32).

En consecuencia, con la metodología utilizada, se puede concluir que la secuencia didáctica fundamentada en la evaluación fue favorable y permitió observar una progresión por parte de los profesionales, en el caso de los ingenieros y los licenciados, los cuales tenían un nivel de desempeño novato y que mediante la rúbrica permitió caracterizar las habilidades que los participantes fueron desarrollando en el diplomado. Por lo tanto, el desarrollo de las prácticas en el aprendizaje de la cromatografía de gases (CG) mediante un curso virtual reforzó y potenció el desarrollo de habilidades procedimentales, relacionando lo teórico-práctico, a través de situaciones contextualizadas en la técnica analítica.

Es importante considerar el uso de la tecnología para acompañar los procesos de aprendizaje y la pertinencia de estos en la construcción de los conocimientos. En este sentido, Pérez et al. (2022) realizaron una investigación acerca de un software educativo como estrategia de enseñanza sobre cromatografía de gases en la carrera de ingeniería química de la escuela superior politécnica del Chimborazo, Ecuador. El software fue realizado a través de una página web con combinación de simulaciones, resolución de problemas prácticos y ejercicios con apoyo en tutoriales, para lo cual la investigación evidencia que las herramientas tecnológicas facilitan los procesos didácticos para generar resultados satisfactorios que facilitan el rendimiento académico.

El software como herramienta didáctica abarca conceptos básicos de la cromatografía de gases como procesos de separación, columnas cromatográficas, aplicaciones, entre otros. Después de la implementación del software se refleja la flexibilidad que tienen los estudiantes en usarlo,

un nivel adecuado en los contenidos, la retroalimentación referente a la teoría de cromatografía de gases. Además, hubo incremento en el rendimiento académico, debido a las condiciones de motivación y el recurso didáctico empleado, el estudiante mejoró su disposición frente a la materia, se relaciona lo teórico con lo práctico. De la misma manera, se desarrolló un proceso de construcción del aprendizaje y se integró de forma diferente e interactiva.

Esto una vez más muestra la importancia de hacer uso de la tecnología en los procesos de aprendizaje como, por ejemplo, usos de MOOC centrados más en el aprendizaje que en los contenidos pues, los antecedentes o investigaciones realizadas evidencian mejoras en los procesos de aprendizaje, autonomía y motivación en la construcción de los conocimientos.

A pesar de la importancia de la cromatografía de gases en diversos campos científicos, una búsqueda sistemática en bases de datos académicas durante el periodo 2013-2023 reflejan pocos estudios respecto a la enseñanza de la cromatografía de gases. La mayoría de las investigaciones se centran en aspectos técnicos y aplicaciones analíticas, dejando un vacío en cuanto a la didáctica de esta técnica analítica. En consecuencia, por medio de este trabajo se pretende suplir la necesidad de aprendizaje en este campo, en dónde se proporcione a los estudiantes de carreras afines a la química, material educativo y recursos didácticos que expliquen los conceptos clave de la cromatografía y su relación con el análisis de sustancias psicoactivas, lo que podría ser beneficioso para su futura formación académica.

5.5. Desde el aprendizaje basado en problemas

Bermúdez (2021), realizó una búsqueda de artículos científicos en bases de datos como Dialnet, Scielo, Redalyc y Google académico. La selección de los artículos estuvo basada en aquellos que presentaban resultados de intervenciones que implementaron el aprendizaje basado en problemas (ABP) para mejorar el pensamiento crítico bajo una revisión sistemática. Los estudios pre-experimentales, mixtos y cuasi experimentales concuerdan con la idea de que este enfoque de aprendizaje desarrolla significativamente las habilidades de pensamiento crítico de los estudiantes. Además, demostraron que el uso del ABP produce un efecto significativo en la mejora de las destrezas de comprensión y análisis. Del mismo modo, mejora el rendimiento

académico puesto que, hay desarrollo en las sesiones y en las pruebas de conocimiento. De acuerdo con Bermúdez, el enfoque ABP tiene un impacto positivo en los procesos de aprendizaje y fomenta la capacidad para resolver problemas.

5.6. Desde el aprendizaje autónomo

La pedagogía tiene el gran reto de dirigir el proceso de aprendizaje para impulsar el pensamiento reflexivo, crítico y autónomo para la construcción del conocimiento, teniendo en cuenta que desde el currículo se debe formar para la gestión autónoma del aprendizaje. En tal sentido, se toma como referencia a Escobedo et al. (2020), donde los autores analizaron el aprendizaje autónomo en la educación a distancia dado que, el sistema de enseñanza a distancia ha estado en auge porque cumple con las necesidades de la sociedad actual y ofrece otra manera de aprender distinta al modelo educativo tradicional.

Se destaca como elemento principal en una educación a distancia la autonomía por parte de los estudiantes, la cual sirve para la adquisición de conocimientos y para el desarrollo del compromiso y la responsabilidad con el aprendizaje. La autonomía en el aprendizaje está relacionada con los avances tecnológicos para permitir a los sujetos disponer y organizar su tiempo en una sociedad actual que demanda tiempo y espacio.

Pérez (2022), señala que el aprendizaje autónomo es la utilización de habilidades para la recopilación y selección de la información (como se citó en Escobedo et al., 2020), lo cual quiere decir que se desarrollan habilidades para investigar de acuerdo con sus necesidades. Por otra parte, en la investigación realizada por Escobedo et al. (2020), se evidencian las problemáticas del aprendizaje autónomo a distancia, por ejemplo, el estudiante se centra en la estructura de los contenidos y en el desarrollo de las actividades extensas y deja a un lado el aprendizaje. Sin embargo, se propone una administración en los tiempos, jerarquización, formas de estudio, establecer prioridades, dormir lo suficiente y tomar descansos.

6. Marco Teórico

6.1. Drogas Sintéticas o Nuevas Sustancias Psicoactivas

Desde diferentes partes del mundo se han venido analizando diferentes tipos de sustancias sintéticas que pretenden tener o imitar los efectos sustancias psicoactivas (SPA), con el fin de poder vender o abrir el mercado a las llamadas drogas legales o sales de baños, estas se destacan por tener una modificación en su estructura química y así poder evadir el control legislativo, debido a que aún no se encuentra un método analítico para la identificación de estos. Según la oficina de Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC) (2016), señala que “la falta de patrones de referencia asequibles, de metodologías analíticas apropiadas y de publicaciones científicas sobre la materia han hecho que sea todavía más difícil la validación de nuevos métodos analíticos para las NSP”.

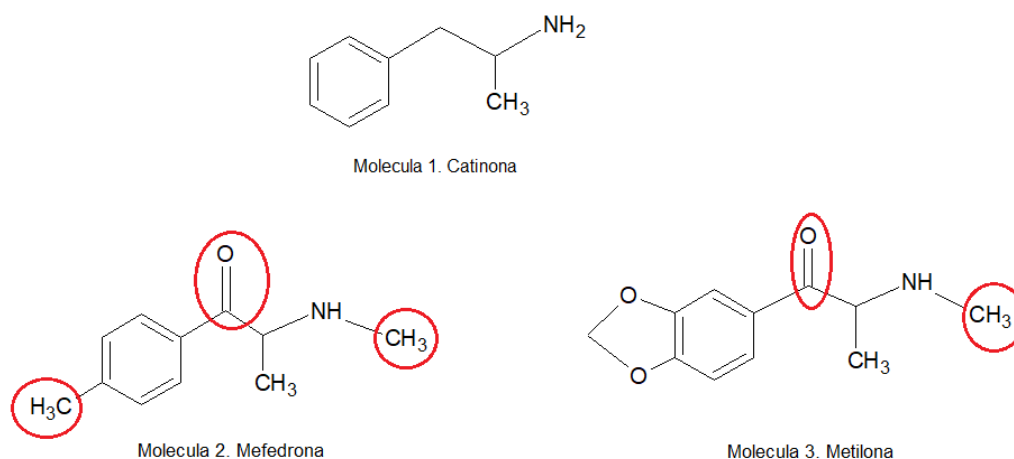
6.2. Generalidades de las catinonas

Las catinonas sintéticas hacen parte de este grupo de drogas emergentes, estas fueron detectadas por primera vez en la década de 1920 y se caracterizan por tener únicamente la adición de un grupo R en el grupo amino de la molécula original de catinona. Paillet-Loilier et al., (2014), afirma que “las catinonas sustituidas son análogos sintéticos de la catinona que pueden considerarse derivados de fenetilaminas con un grupo beta-ceto en la cadena lateral”.

Teniendo en cuenta la Figura 1. se evidencia que según la estructura base de la catinona, la mefedrona tiene tres sustituyentes R diferentes, en la amina primario tiene un CH₃ convirtiéndolo en un grupo amino secundario, en el carbono dos tiene un grupo cetona y en el anillo bencénico también tiene un CH₃ y en la metilona ocurre mismo en la amina primaria y en el carbono dos, sin embargo, en el anillo bencénico se evidencia la presencia de un epóxido.

Figura 1

Catinonas de anillo sustituido



Fuente: Elaboración Propia en ChemSketch

6.3. Mecanismo Molecular de Acción

Esta droga sintética se caracteriza por presentar un efecto estimulante, es decir, altera el sistema nervioso central activando la secreción de sustancias químicas como la Dopamina que se encarga de las sensaciones de placer y la norepinefrina que afecta la presión arterial, frecuencia cardíaca, respiración y niveles de azúcar en la sangre, esto invirtiendo su función y comportamiento. Según Baumann et al., (2020) “Las sales de baño ejercen sus efectos interactuando con las proteínas transportadoras de la membrana plasmática expresadas en células nerviosas que sintetizan los neurotransmisores monoamínicos” (p. 5).

Algunos de los transportadores de monoaminas conocidos e importantes en el proceso, son los transportadores de soluto 6 (SLC6), estos son la familia de simportadores de sodio, es decir, son unas proteínas de membrana integral que participa en el transporte de dos moléculas a través de la membrana celular, estos se dividen en DAT (transportador de dopamina), NET (transportador de norepinefrina) y SERT (transportador de serotonina). Asimismo, son los encargados de la translocación desde el espacio extracelular hasta el citoplasma neuronal de moléculas de neurotransmisores, es decir, son los responsables de la captación de

neurotransmisores (Fenollar y Ferrer, 2014). De acuerdo con lo anterior, el proceso de captación ocurre por medio del transporte activo y gradiente iónico a través de la membrana celular, estos determinan el tiempo de acción de las monoaminas y por ende la actividad del transmisor.

Como las catinonas son un beta-ceto análogo de las anfetaminas, es decir tienen un grupo carbonilo ubicado en el carbono beta de la cadena, en cual hace que aumente la polaridad, para reducir la permeabilidad de la barrera hematoencefálica, de esta manera disminuye la intensidad de los efectos (Coppola y Mondola, 2012). Por otro lado, la molécula de la catinona presenta resistencia ante la degradación enzimática, debido a la variedad de sustituciones como grupos aceptores como el flúor y el aumento de la longitud de la cadena carbonada sobre el grupo amino terminal. lo cual hace que aumente la lipofilicidad otorgando esa característica a la degradación enzimática (Banks et al., 2014).

Según Pedersen et al., (2013), las principales reacciones que se llevan a cabo en el metabolismo de las catinonas son la desmetilación, reducción del grupo ceto a hidroxilo y la oxidación de grupos alquilo del anillo bencénico, aunque el metabolismo enzimático puede variar de acuerdo con los factores genéticos. No obstante, de manera general los estudios han evidenciado que las catinonas se metabolizan principalmente por la isoforma CYP2D6 del citocromo P450. Igualmente, en moléculas que contiene un metilendioxi como la metilona, etilona y butilona ocurre una desmetilación del anillo metilendioxi por la enzima o-metiltransferasa, resultando dos posibles metabolitos 4-hidroxi-3-metoxi o 3-hidroxi-4-metoxi, los cuales reaccionan con ácido glucurónico y sulfatos, siendo así excretados en la orina (Meyer y Maurer, 2010).

Por otro parte, aquellas moléculas que no contengan el grupo metilendioxi como la mefedrona hay una formación de una amina primaria cuando ocurre la N-desmetilación, además de la formación de los alcoholes con la reducción del grupo ceto a hidroxilo, así mismo reaccionan con ácido glucurónico y sulfatos para ser excretada. Debido a la similitud que tienen las catinonas con los derivados anfetamínicos centran sus efectos en SNC mediante la alteración de los monoaminérgicos centrales y periféricos, aumentando la concentración de catecolaminas en la hendidura sináptica (Espert et al., 2015).

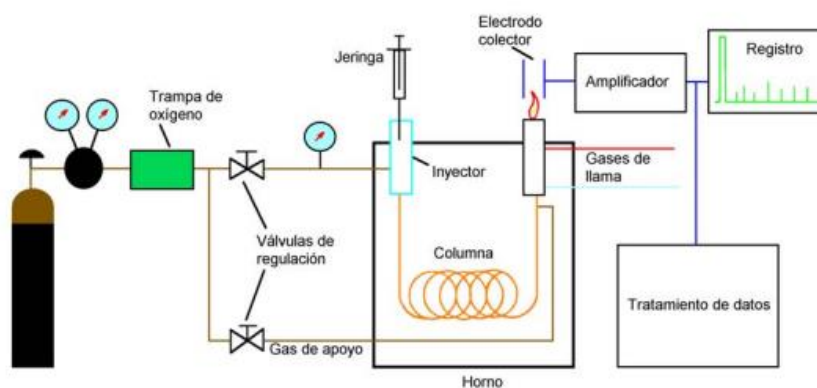
6.4. Cromatografía de Gases

La cromatografía de gases es una técnica analítica enfocada en la determinación y capacidad de separación y sensibilidad de compuestos orgánicos altamente volátiles, en esta se inyecta una pequeña cantidad de la muestra a separar por medio de una corriente de gas inerte a una elevada temperatura, esta cruza a través de una columna que separa los componentes de la mezcla, donde posteriormente los componentes separados terminan detectados por un sistema de cuantificación y recolección de muestras.

Como lo menciona Yáguez (2008), en la cromatografía de gases la muestra se volatiliza en el sistema de inyección, luego ingresa a la columna, y la elución se da por el flujo de la fase móvil, la cual no reacciona con el analito, donde la separación se realiza en la columna gracias a la diferencia de polaridad entre la fase estacionaria y los componentes del analito (p.3.2).

Figura 2

Partes del equipo Cromatográfico de gases



Fuente: Tomado del Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN) (s.f.)

https://www.mncn.csic.es/docs/repositorio/es_ES/investigacion/cromatografia/cromatografia_de_gases.pdf

Teniendo en cuenta lo anterior, es pertinente resaltar que una de las técnicas acopladas más usadas para la identificación de muestras de drogas es la cromatografía en fase gaseosa-espectrometría de masas, además, la UNODC (2016), afirma que la técnica antes mencionada

es de “relevancia forense y puede utilizarse como prueba de confirmación en el caso de las catinonas” (p.30). Por ello en el presente trabajo se desarrollan las mismas.

Según UNODC (2016)

“La cromatografía en fase gaseosa con espectrofotometría de masas es una de las técnicas acopladas de uso más común para la identificación de muestras de drogas de relevancia forense y puede utilizarse como prueba de confirmación en el caso de las catinonas” (p.22).

Por ello es necesario seguir los siguientes procedimientos para preparar solución estándar y la solución de la muestra de la droga objeto de análisis:

Tabla 1

Procedimiento para la preparación de la solución estándar

Procedimiento	
1.	Para la preparación de la solución estándar interna, se utiliza eicosano o n-alcano similar, preparado con metanol a una concentración 1 mg/mL.
2.	En la preparación de la solución estándar, pesar con exactitud el patrón o material de referencia y prepararlo en 1 mg/mL de metanol que contenga patrón interno.
3.	Para la solución de la muestra, pesar con exactitud la droga objeto de estudio o análisis y prepararla con metanol que contenga patrón interno.

Fuente: Adaptado de UNODC (2016)

Según UNODC (2016), es fundamental que el método se valide adecuadamente, por lo que en la siguiente guía expone un método general de detección de catinonas sintéticas.

Tabla 2

Condiciones de funcionamiento de la cromatografía de gases-EM

Condiciones del funcionamiento del CG-EM	
Condiciones del horno	90 °C durante un minuto, ir aumentando 8 °C/ min hasta alcanzar 300 °C de temperatura y mantener el horno isotérmico por 10 min.

Columna	5% fenilo, 95% metil silicona
Longitud	30 m
Diámetro	0,25 mm
Película	0,25 um de grosor
Parámetros de inyección	Inyectar 2 uL de la muestra a 75:1 de razón de separación
Temperatura del inyector	225 °C
Gas portador	Helio, caudal: 1,0 mL/min
Detector	Modo de ionización: 70 ev Corriente iónica del barrido: 50- 550 uma Temperatura de la interfaz CG: 300 °C Temperatura de la fuente EM: 230 °C Temperatura del cuadrupolo EM: 150 °C

Fuente: Adaptado de UNODC (2016)

La validación de un método analítico hace referencia a un estudio de laboratorio sobre un método para un uso en específico, en este caso la cuantificación de catinonas sintéticas; por lo cual en el proceso de validación se debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

Tabla 3

Parámetros para la validación de un método cuantitativo

Especificidad (selectividad)	Se refiere a la capacidad de un método para cuantificar los analitos, sin verse afectado por la presencia de otras sustancias, endógenas o exógenas.
Límite de detección	Es la concentración más baja de analito que puede detectarse e identificarse por encima del ruido de fondo, con un determinado grado de confianza.
Precisión (en condiciones de repetibilidad y/o reproducibilidad)	La precisión mide el grado de variabilidad entre los resultados analíticos obtenidos de una serie de mediciones repetidas del mismo analito, realizadas bajo condiciones específicas.
Exactitud (sesgo)	Es la capacidad de un método para proporcionar resultados que se acerquen al valor verdadero o al valor de referencia del analito que se está cuantificando. La exactitud y la precisión determinan el error total del análisis.

Fuente: Adaptado de UNODC (2016)

6.5. Bioinformática

Como lo menciona Martínez (2007), “la bioinformática es una ciencia que surge de la necesidad de interpretar la información contenida en las secuencias de ADN, ARN y proteínas” (p.2). Pues se ha venido incrementando el volumen de secuencias en los bancos de datos, por lo que surge la necesidad de desarrollar algoritmos para analizar las secuencias y las similitudes entre ellas, también permite descubrir propiedades estructurales y funcionales. La bioinformática es una ciencia interdisciplinaria que agrupa la biología y las ciencias de la computación, que requieren de los aportes de la fisicoquímica, matemáticas, estadística y probabilidad, para identificar una relación genética y genómica almacenando, recopilando y analizando datos e información biológica.

En la década de los 80 y principios de los 90 la bioinformática estaba limitada, lo que generó un inicio de bases de datos primarias como GenBank, luego surge una herramienta más desarrollada como BLAST con una identificación rápida y sensible a las secuencias con similitudes (Franco et al., 2008). Actualmente la bioinformática no se limita solo a las secuencias de ADN, ARN y proteínas si no por el contrario evalúa la expresión de miles de genes en condiciones experimentales o patológicas. Gracias a esta herramienta hoy en día contamos con una representación virtual de un organismo contribuyendo al desarrollo de la investigación y proponiendo posibles principios activos y mecanismos para tratar ciertas patologías.

6.6. Massive Online Open Courses (MOOC)

Los cursos en línea masivos y abiertos por sus siglas en inglés MOOC, son cursos impartidos en plataformas virtuales o software que surgen como una modalidad flexible de enseñanza y aprendizaje. Según Mercado (2016) “los MOOC representan una oportunidad valiosa para extender los servicios educativos a numerosas poblaciones que no pueden acceder a una educación universitaria y conocer los últimos avances de frontera derivados de la investigación en múltiples áreas del conocimiento” (p. 57). Por ello, son ambientes dirigidos a miles de participantes de manera simultánea y abierta, centrados en las necesidades personales de

formación e intereses de los participantes y que por lo general tienen un tema o currículo, seccionado por lecciones, recursos educativos, enlaces a herramientas externas, entre otros.

Están basados en la teoría conectivista, la cual reúne las teorías conductista, constructivista y cognitivista del aprendizaje. El enfoque conectivista supone que el aprendizaje es el resultado de la interacción sostenida en las redes que conectan a las personas entre sí y a la comunicación que dichas redes permiten y facilitan (Siemens, 2004). Por consiguiente, en el MOOC se establece la capacidad de construir, enlazar, y mantener las fuentes de información conectadas por medio de redes, haciendo posible un aprendizaje continuo.

Méndez (s.f) afirma que:

“El aprendizaje se caracteriza por su carácter no lineal y asíncrono: es decir, no se trata de que el estudiante reciba la información de forma lineal que se origina en el profesor y que tiene como destinatario el alumno, sino que el origen de la información se multiplica, y además, dado el carácter online de los cursos, los estudiantes tienen una cierta libertad” (p.3).

Teniendo en cuenta lo anterior, los MOOC, pueden adoptar diferentes estructuras de acuerdo con el enfoque empleado, como se muestra en la **Tabla 4**. Así se distingue el cMOOC, el cual se enfatiza en las necesidades personales de formación e intereses de los que acceden, el profesor pasa a ser un facilitador inicial del conocimiento mientras que el estudiante es el que al final lo construirá mediante redes, de una forma colaborativa y por la interacción entre los participantes de los cursos. Por otro lado, los xMOOC, están orientados a la adquisición del conocimiento de una forma más individualizada, en el que el profesor es el que delimita el tema por tanto existe un mayor control sobre su diseño, que tiende a estar estable durante el desarrollo del curso. Finalmente, el tMOOC, en el que el aprendizaje será desarrollado a través de tareas que son definidas por el profesor y pueden ser completadas mediante la creación de comunidades.

Tabla 4

Tipos de MOOC

	cMOOC	xMOOC	tMOOC
<i>Teoría del aprendizaje</i>	Conectivismo	Conductismo	Híbrida
<i>Modelo de aprendizaje</i>	Co-generación de conocimiento	Adquisición (clásica) de conocimiento	Adquisición y generación de conocimiento
<i>Orientado a</i>	Redes	Contenidos	Tareas
<i>Conocimiento</i>	Distribuido y co-generado	Declarado por la organización del curso	Declarado por la organización del curso
<i>Contenido</i>	Co-creación y o socio-creación a partir de un tema central	Tema central; desarrollo enfocado a conceptos	Tema central; desarrollo enfocado a actividades
<i>Objetivos del aprendizaje</i>	Autodefinido por cada participante	Definido por el profesor	Definido por el profesor
<i>Ámbito del aprendizaje</i>	Tema central abierto; interdisciplinar	Tema central cerrado; disciplinar	Tema central cerrado; disciplinar
<i>Interacción</i>	Fuerte	Débil	Media
<i>Cohesión y control del curso</i>	Participantes	Profesor	Profesor
<i>Evaluación</i>	Muy difícil o inexistente	Sencilla; automatizada en múltiples casos	Difícil a muy difícil
<i>Preponderancia de</i>	Exploración y comunidad sobre los contenidos	Adquisición de contenidos sobre la comunidad	Tareas sobre la comunidad

Fuente: Adaptada de Davara (2017)

Según una revisión bibliográfica realizada por Montoro et al. (2017), se puede diseñar un MOOC teniendo en cuenta siete pasos, los cuales cubren los elementos necesarios para el diseño de una unidad didáctica en el aprendizaje formal, estos son: son objetivos, contenido, actividades y evaluación. De tal manera que se sigue los siguientes pasos para la construcción del MOOC mediante un proceso guiado:

- Establecer metas: En el que se delimitan los objetivos del curso tanto de conocimiento como de ejecución, ya que de estos se derivan la elección de los contenidos, el diseño de las actividades y el establecimiento de la evaluación.

- Establecimiento del contenido del curso: Es clave definir y delimitar el contenido que va a ser parte del MOOC, de tal forma que deben ser modulares, con el fin de enumerar cada tema a tratar.
- Recopilación de material: Selección de los recursos didácticos y audiovisuales del curso, los cuales permitirán visualizar con claridad los contenidos.
- Establecimiento del formato de contenido del curso: Una vez que se establecen las unidades, se debe decidir cómo se mostrarán, teniendo en cuenta que el diseño y los recursos deben estar centrados en el aprendizaje del estudiante.
- Definición de las actividades: Forman parte del desarrollo del contenido para alcanzar las metas propuestas y qué permiten la regulación del aprendizaje. Por consiguiente, comprobar la adquisición conceptual por parte de los estudiantes.
- Definición de la evaluación: Diseñar la evaluación a partir de diferentes actividades, en donde se evidencie el proceso de aprendizaje, qué se ajusten a la gran diversidad de estudiantes.
- Secuencia de aprendizaje: Los contenidos y actividades deben tener una organización coherente y cohesiva, de tal forma que el estudiante pueda tener una adecuada experiencia de aprendizaje y obtener una participación.

7. Metodología

Para el presente proyecto de investigación, se desarrolló un MOOC (Massive Open Online Courses) como una estrategia didáctica para el aprendizaje autónomo de la cromatografía de gases, cuyo enfoque pedagógico es el aprendizaje basado en problemas (ABP), el cual permite que los estudiantes mantengan un aprendizaje de conocimientos y habilidades de modo activo mediante el planteamiento de un problema.

El aprendizaje basado en problemas como el enfoque pedagógico del curso permite el desarrollo de una metodología activa que a través de un planteamiento de un problema como la muerte de Mr.Khat, genera que los estudiantes se motiven a proponer una solución a partir de una construcción autónoma del conocimiento y mejora en la toma de decisiones y capacidad de análisis. Lo anterior, permite definir una ruta de aprendizaje como un proceso definido, sumativo y progresivo del cual surgen preguntas orientadoras para la resolución de la problemática planteada. Este tipo de aprendizaje favorece que los estudiantes aumenten su autonomía, por lo que es adecuado para el diseño de un Massive Open Online Courses, ya que este está enfocado en el aprendizaje en línea; lo que confirma que la presentación de un problema, la formulación de preguntas, la búsqueda de información, la resolución de un problema y la entrega de un producto final son pasos importantes en el proceso de aprendizaje autónomo de la cromatografía de gases.

A razón del objetivo del proyecto empleado se usó un análisis metodológico de carácter mixto, porque representa un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación e implican la recolección, análisis y vinculación de datos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio o una serie de investigación para resolver el planteamiento de un problema (Hernández et al., 2006, p.544).

Además, se presenta una fase del diseño de tipo cuasi experimental sin grupo control. Según Hernández et al. (2006), en el diseño cuasi experimental los sujetos no se asignan al azar a los grupos, sino que dichos grupos ya están formados antes del experimento: son grupos intactos, ya que la razón por la que surgen y la manera como se formaron es independiente (p.148).

Teniendo en cuenta lo anterior, se pretende analizar la relación entre la variable dependiente centrada en el aprendizaje de la cromatografía de gases en el contexto de las sustancias psicoactivas y la independiente enfocada en el desarrollo de actividades del MOOC como estrategia de aprendizaje en la enseñanza de la cromatografía de gases.

7.1. Población

El MOOC está dirigido a una población de estudiantes universitarios del ciclo de profundización, egresados y estudiantes de maestría de carreras afines a la química, como licenciatura en química, bioquímica, educación ambiental, regencia de farmacia, ingeniería industrial entre otros. Por lo cual, es importante que para el desarrollo del curso los participantes cuenten con conocimientos básicos en bioquímica y química analítica.

La difusión del MOOC se realizó a través de un enlace de preinscripción, donde se registraron en la plataforma Moodle UPN 68 estudiantes de los cuales 25 terminaron el curso y lograron la certificación, siendo esta la muestra poblacional con la que se desarrolló el curso y se realizó la prueba piloto. Dentro de los participantes que culminaron 23 son estudiantes de la licenciatura en química, 1 egresado de la misma carrera y 1 estudiante de la maestría en docencia de la química.

7.2. Formulación de Hipótesis

Hipótesis nula (H_0)

El uso del MOOC y la bioinformática no es efectivo para el aprendizaje de cromatografía de gases en estudiantes universitarios de carreras afines a la Química.

Hipótesis verdadera (H_1)

El uso del MOOC y la bioinformática es efectivo para el aprendizaje de cromatografía de gases en estudiantes universitarios de carreras afines a la Química.

7.3. Fases de Investigación

7.3.1. Identificación de los conocimientos previos

Se identificó los conocimientos previos de 25 estudiantes a través de una prueba de entrada o diagnóstico, la cual consistió en 11 preguntas acerca de cromatografía, bioinformática y sustancias psicoactivas, esto con el objetivo de identificar cuáles son las bases conceptuales de los estudiantes y reconocer las necesidades que debe suplir o fortalecer el MOOC; esta fase se caracteriza por tener un gran impacto en el diseño e implementación del Massive Open Online Courses.

7.3.2. Diseño y aplicación del MOOC

El MOOC está diseñado con un enfoque híbrido (tMOOC), ya que prioriza la construcción del aprendizaje por medio de diversas tareas y actividades que debe realizar progresivamente el estudiante para avanzar a lo largo del curso; este tipo de MOOC se caracteriza por la adquisición y generación de conocimiento enfocado en un tema central, donde los objetivos de aprendizaje son definidos por el profesor. Este se diseñó con 7 módulos para el cumplimiento de 35 horas con el propósito de cumplir con el objetivo del curso, por lo que tendrá una interacción media en su desarrollo y una evaluación automatizada (**Tabla 4**).

Para el diseño del tMOOC, se tuvo en cuenta los siete pasos propuestos por Montoro et al. (2017), los cuales fueron adaptados a las necesidades del curso. Inicialmente se delimitaron los objetivos del curso, los cuales están enfocados en comprender conceptos básicos sobre cromatografía de gases y una aproximación a la validación del método analítico mediante el caso forense de Mr. Khat, fortalecer el uso de herramientas bioinformáticas con base a los mecanismos de neurotransmisión producidos por las nuevas sustancias psicoactivas y por último analizar las causas y consecuencias de la muerte misteriosa de Mr. Khat.

A partir de los objetivos, se estableció el contenido del curso, el cual está orientado principalmente en el aprendizaje de cromatografía de gases y como valor agregado las temáticas de bioinformática, sustancias psicoactivas y el desarrollo de un método analítico,

donde posteriormente, el formato del contenido que se utilizó está basado en la colorimetría de la historieta de Mr. Khat, gama de colores del azul, verde y morado. Desde allí, se diseñaron los recursos didácticos y audiovisuales para garantizar la claridad y cohesión de los contenidos en el proceso de aprendizaje. Para visualizar los objetivos de las actividades y los criterios de evaluación ir a la guía docente en el **Anexo 33**.

Conforme a lo mencionado, este MOOC está centrado en el aprendizaje basado en problemas, por ello el desarrollo del curso está basado en una situación problema ilustrada en una historieta que está bajo el contexto de las Nuevas Sustancias Psicoactivas (NSP), donde un Joven universitario llamado Mr. Khat sale de fiesta con sus amigos y por causas no naturales como una sobredosis pierde la vida. Desde ese momento comenzará el curso y el estudiante tendrá el papel de químico forense donde cruzará un largo camino por diferentes módulos de aprendizaje para identificar cuál fue la causa de muerte del protagonista de la historieta desde conocimientos adquiridos específicamente acerca de cromatografía de gases, bioinformática, sustancias psicoactivas y el desarrollo de un método analítico.

El desarrollo del Massive Open Online Courses está enfocado en el aprendizaje de la cromatografía de gases, sin embargo, se complementa a través de diferentes módulos que integran la situación planteada en el ABP y generan una ruta de aprendizaje mediante el diseño de guías, video tutoriales, actividades interactivas, lecturas orientadoras y diferentes trabajos autónomos acordes a las temáticas, asegurando que los contenidos y actividades tengan una organización coherente y cohesiva.

Por ello, se planteó que el estudiante inicialmente tendrá que aprender qué es una sustancia psicoactiva y su tipos de clasificación, para posteriormente por medio de la bioinformática identificar como las sustancia psicoactivas afectan al sistema nervioso central, es decir, por medio de herramientas bioinformáticas como Protein Data Bank (PDB), Chimera, Pubchem, PxBio y DruLiTo, se identifica si las sustancias psicoactivas logran atravesar la barrera hematoencefálica del cerebro y cómo es su interacción con los neurotransmisores para producir efectos psicoactivos de carácter estimulante y posteriormente comenzar la introducción a los conceptos básicos y el desarrollo de un método de análisis específico en cromatografía de

gases, este método analítico de separación de mezclas va a permitir qué el estudiante encuentre qué mató a Mr.Khat, analizando cromatogramas obtenidos del análisis del polvo blanco encontrado en la escena de la muerte.

Teniendo en cuenta el diseño realizado del MOOC, se validó su estructura desde los contenidos conceptuales hasta los recursos empleados en el diseño, para que así el curso cumpla con lo necesario para garantizar una efectividad en el aprendizaje autónomo de la cromatografía de gases. Esta validación, se hizo por medio de diferentes expertos en el tema, a través de una entrevista no estructurada donde se desarrolló una revisión minuciosa de cada uno de los recursos, videotutoriales y trabajos autónomos a implementar.

7.3.3. Análisis de la efectividad del MOOC

El enfoque de la investigación fue mixto, por lo que los resultados del MOOC fueron analizados por medio de un software analítico cualitativo como Atlas.Ti y uno cuantitativo como SPSS, debido a que permiten analizar la efectividad del MOOC en cuanto a la construcción y calidad de los conocimientos. Para lo cual, se comparó la prueba diagnóstica con la prueba final y la correlación que hay entre las actividades intermedias para favorecer conocimientos apropiados, teniendo como base los criterios de evaluación y categorías establecidas para cada actividad.

8. Resultados y discusión

Teniendo en cuenta la metodología aplicada y las fases de investigación desarrolladas, se obtuvieron diferentes resultados que serán mostrados a continuación.

8.1. Identificación de los conocimientos previos

La prueba diagnóstica está compuesta por tres secciones, las cuales tienen el objetivo de identificar los conocimientos previos en cromatografía, bioinformática y sustancias psicoactivas, esta prueba en su totalidad contó con 11 preguntas, las cuales se dividen en preguntas abiertas y de selección múltiple que reúnen todas las temáticas (**Anexo 1**), cada una de las preguntas tiene una valoración de 0,45.

Las respuestas a las preguntas abiertas de cada estudiante se analizaron de acuerdo con unos criterios de evaluación, de esta manera se establecieron cuatro categorías a saber: no apropiado que corresponde a 0,18, regular 0,27, bueno 0,36 y excelente 0,45, el detalle de cada categoría se establece según la intencionalidad de cada pregunta, y se pueden ver en las **Tablas 6, 8 y 9**. Por otro lado, las preguntas cerradas de selección múltiple solamente tienen una respuesta correcta de tres opciones que se le plantearon al estudiante, la respuesta correcta incluye conceptos y conocimientos acertados que dan solución a la preguntas y las incorrectas permiten identificar errores conceptuales que presenta los estudiantes antes de comenzar a desarrollar el MOOC.

A continuación, se muestran los resultados de la aplicación de la prueba diagnóstica de los 25 estudiantes que participaron.

8.1.1. Cromatografía

Esta sección está compuesta por tres preguntas cuyo objetivo es identificar los conocimientos previos que los estudiantes tienen sobre el método analítico de separación, en la **Tabla 5** se presentan las preguntas correspondientes a esta sección de la prueba.

Tabla 5*Preguntas sección cromatografía*

No.	Pregunta	Tipo de pregunta
1.	Qué entiende usted por cromatografía. Defina el término en un párrafo.	Abierta
2.	Para que se lleve a cabo la separación de la muestra por la técnica de cromatografía de gases, se necesita una fase móvil y una fase estacionaria. En este sentido, las fases deben ser: A) Inmiscibles B) Miscibles C) Parcialmente miscibles	Cerrada
3.	La cromatografía de gases sirve para separar compuestos de qué naturaleza A) Volátiles B) Los que no se volatilizan fácilmente C) Sólidos	Cerrada

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar en la **Tabla 5**, la pregunta número uno es de tipo abierta, razón por la cual, las respuestas fueron valoradas de acuerdo con los criterios de evaluación que se presentan en la **Tabla 6**.

Tabla 6*Categorías pregunta 1*

Categoría	Criterios
No apropiado	● No establece que es la cromatografía. ● No conoce la técnica. ● No menciona que es una técnica de separación de compuestos.
Regular	● Solo reconoce la cromatografía como una técnica de separación, pero no explica el principio básico de la técnica. ● Presenta algunos errores conceptuales en la explicación de la técnica cromatográfica.

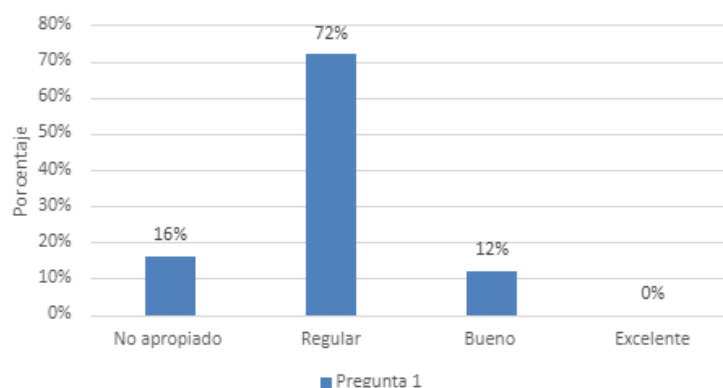
Bueno	● Reconoce la cromatografía como una técnica de separación de componentes. ● Explica el principio de funcionamiento de manera básica. ● Identifica las fases de la técnica. ● Presenta errores conceptuales mínimos.
Excelente	● Reconoce la cromatografía como una técnica de separación de componentes. ● Explica el principio de funcionamiento de manera compleja. ● Identifica las fases de la técnica. ● Identifica el tipo de compuestos que se pueden separar por la técnica de cromatografía de gases. ● Menciona ejemplos y aplicaciones. ● Nombra algunas variables en las condiciones cromatográficas.

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con lo anterior, una vez evaluada la pregunta uno, se evidenció que el 12% de los estudiantes tienen respuestas categorizadas como buenas, en tanto que 88% de ellos se ubican entre regular o no apropiadas (**Figura 3**). Este resultado muestra que, a pesar de que los estudiantes cursaron previamente asignaturas relacionadas con química analítica, teniendo en cuenta que ese fue el perfil que se definió para los estudiantes que participan en el MOOC, no tienen claros los conceptos básicos de la cromatografía, lo cual se podría explicar desde dos puntos de vista, el primero es suponer que la temática de cromatografía no fue incluida en los cursos, o por la extensión de los temas programados, no fue posible trabajar esta metodología. Por otra parte, un segundo punto de vista puede ser el hecho de que no lograron los objetivos de aprendizaje proyectados en la asignatura, debido a la ausencia de metas claras y metodologías didácticas acordes a las necesidades de los estudiantes, ya que como lo menciona Salcedo (2011), la ausencia de objetivos en los programas de enseñanza, significan la falta de verdaderos instrumentos didácticos que permitan efectivamente racionalizar dicho proceso o conocimiento.

Figura 3

Gráfica de barra pregunta 1



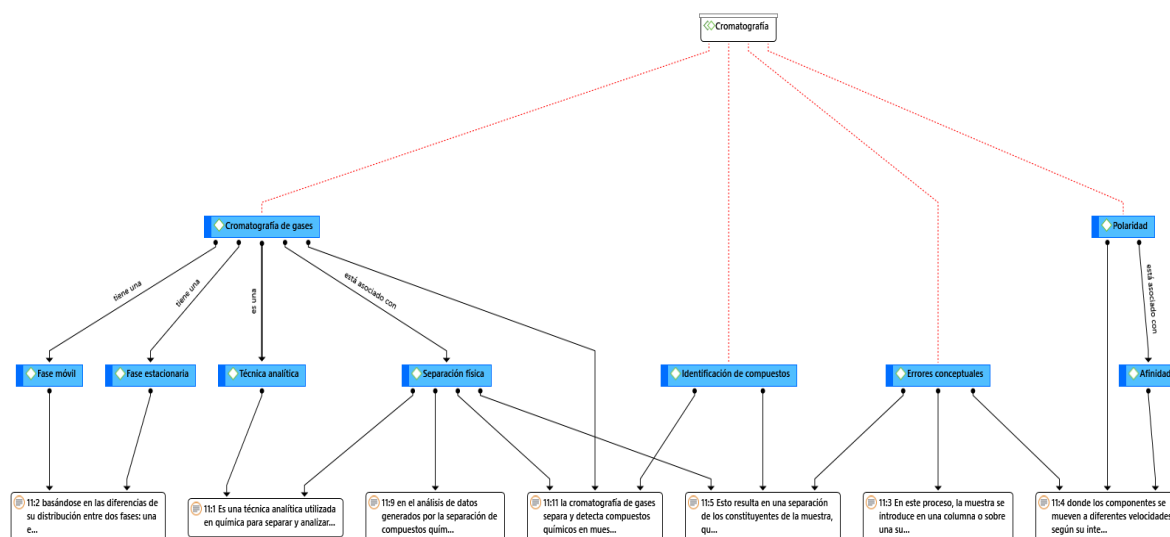
Fuente: Elaboración Propia

En consecuencia, y con el fin de identificar los posibles errores conceptuales que tienen los estudiantes, se utilizó el programa Atlas-Ti para evaluar cada una de las respuestas de las preguntas abiertas dadas por los estudiantes, un ejemplo es la respuesta del estudiante 24, quién para la pregunta sobre cromatografía menciona que: “ *Es una técnica analítica utilizada en química para separar y analizar componentes de una muestra, basándose en las diferencias de su distribución entre dos fases: una estacionaria y una móvil. En este proceso, la muestra se introduce en una columna o sobre una superficie, donde los componentes se mueven a diferentes velocidades según su interacción con las fases. Esto resulta en una separación de los constituyentes de la muestra, que luego pueden ser identificados y cuantificados*”

Con la anterior respuesta se construyó una red semántica (**Figura 4**) que facilita el análisis ya que, permite determinar gráficamente como une los conceptos en la estructura cognitiva del estudiante.

Figura 4

Red semántica de estudiante 24.



Fuente: Elaboración propia en Atlas Ti

Conforme a los criterios de evaluación, el estudiante 24 tuvo una respuesta buena debido a que reconoce la cromatografía como una técnica analítica que permite la separación e identificación de compuestos, a pesar de que se preguntó sobre cromatografía en general, el estudiante lo asocio con cromatografía de gases, por lo tanto, reconoce que hay una fase móvil y una estacionaria. No obstante, no puntualiza en cómo es la interacción de la muestra con la fase, pero se aproxima cuando menciona que los componentes se mueven a diferentes velocidades, esto posiblemente puede estar relacionado con polaridad y afinidad de la muestra con la columna.

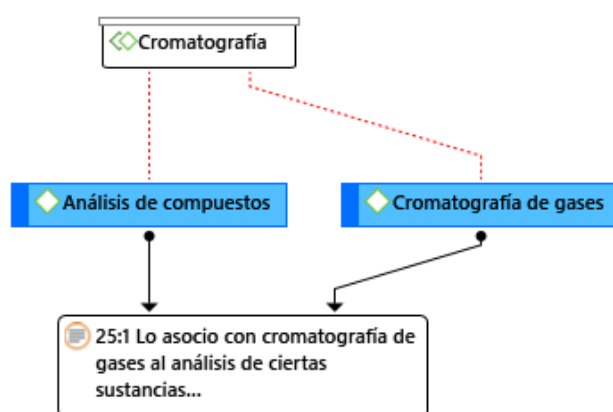
Como es una prueba inicial que se realiza antes de que el estudiante desarrolle el MOOC, se presentan errores conceptuales tal, como se puede observar en la red conceptual, pues el estudiante establece que la muestra se inyecta en la columna, error que se puede solucionar a través de los contenidos y actividades del MOOC, los cuales están basados en las investigaciones de autores y en el desarrollo de la técnica analítica por ejemplo, Yagües (2008), menciona que la inyección de la muestra se realiza con una jeringa hipodérmica por medio de un septum autosellante, una vez ingresa al sistema de inyección ocurre la evaporación de la muestra y en la columna se lleva a cabo la separación.

Por otro lado, la respuesta del estudiante 1 fue categorizada como no apropiada, cuya respuesta fue: “lo asocio con cromatografía de gases al análisis de ciertas sustancias”.

Tomando la respuesta del estudiante a la pregunta 1 de la prueba diagnóstico, se observa el análisis en la **figura 5**.

Figura 5

Red semántica de estudiante 1 con categorización de respuesta no apropiada.

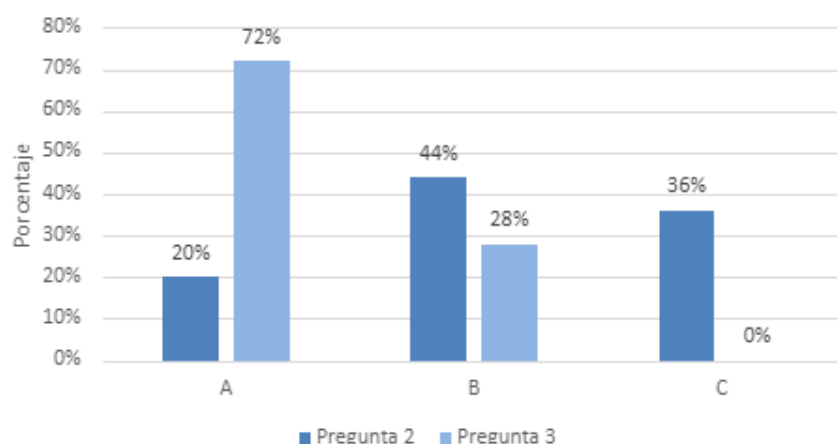


Fuente: Elaboración propia en Atlas Ti

Con base en los criterios de evaluación la pregunta fue categorizada como no apropiada puesto que, si bien el estudiante debería tener algunas bases de química analítica, su respuesta está limitada sólo a que la cromatografía de gases sirve para analizar compuestos, pero no indica el tipo de compuesto que se pueden analizar por esta técnica, no reconoce que se puede separar e identificar los diferentes componentes de una muestra asimismo no se establece cómo se lleva a cabo la separación. De esto se puede inferir que los conocimientos previos del estudiante acerca de la cromatografía son nulos. En este sentido, el MOOC es un recurso apropiado para fortalecer estos vacíos conceptuales.

Figura 6

Gráfica de barras pregunta dos y tres



Fuente: Elaboración propia

Ahora bien, para realizar el análisis de la pregunta dos, la respuesta esperada es la A. De acuerdo con la **Figura 6**, se evidencia que solo el 20% respondió correctamente, en tanto que el 80% seleccionó entre las respuestas B y C, es decir que identifican que las fases en la técnica son miscibles o parcialmente miscibles, lo que es un error conceptual, ya que si las fases tienen esta característica van a interactuar entre sí y no va a ocurrir una separación adecuada de la muestra. Por ello, para que haya una buena separación de una muestra por la técnica de cromatografía de gases se necesita realizar una buena selección de columna y gas portador, garantizando que estas fases sean totalmente inmiscibles, en otras palabras, no se puedan mezclar o disolverse una en la otra, para que así el analito interactúe mediante un proceso de adsorción con la fase estacionaria. Es más, según Yagües (2008), resalta que lo que distingue a la cromatografía de la mayoría de los métodos físicos y químicos de separación, es que se ponen en contacto dos fases mutuamente inmiscibles. Una fase es estacionaria y la otra móvil, donde una muestra que se introduce en la fase móvil es transportada a lo largo de la columna que contiene una fase estacionaria distribuida.

En esa misma línea, para la pregunta número tres la respuesta esperada es la A, ya que hace referencia a que la cromatografía de gases sirve para separar compuestos que sean de naturaleza volátil. En cuanto a la **Figura 6**, se observa que el 72% respondieron correctamente, mientras

que el 28% presenta una falla conceptual, ya que interpretan que la cromatografía de gases sirve para separar compuestos que no se volatilizan fácilmente, sin embargo, esta técnica se especializa en trabajar con compuestos en estado gaseoso, por lo que para su análisis es importante que los compuestos sean altamente volátiles para así garantizar un resultado adecuado y fiable.

8.1.2. Conocimientos de bioinformática

Esta sección está compuesta por seis preguntas que tienen el objetivo de identificar cuáles son los conocimientos previos que los estudiantes tienen sobre la bioinformática y sus herramientas, a continuación, está una tabla con las respectivas preguntas (**Tabla 7**).

Tabla 7

Preguntas sección bioinformática

No.	Pregunta	Tipo de pregunta
4.	Describa los conocimientos que tiene acerca de la bioinformática.	Abierta
5.	¿Qué programas o software ha utilizado usted sobre bioinformática?	Cerrada
	DruLito, PDB, Chimera, PXRy, Avogadro, Pubchem u otros.	
6.	Si seleccionó en el listado anterior "otros", indique cuáles.	Abierta
7.	¿Qué es docking molecular?	Cerrada
	A. técnica computacional que permite predecir estructuras moleculares y formas de enlace más favorables entre una proteína y un ligando.	
	B. Estudia las propiedades de los compuestos moleculares desde los aminoácidos hasta la formación de la proteína.	
	C. Un método para determinar la estructura tridimensional de una molécula.	

8.	¿Cuál es la diferencia entre un ligando y una proteína?	Cerrada
	A. Los ligandos son moléculas más grandes que la proteína y un ligando puede generar una proteína. B. Los ligandos son moléculas pequeñas, que pueden tener funciones de hormona, receptor, neurotransmisor y fármaco, mientras que las proteínas son macromoléculas necesarias para la estructura, función y regulación de los tejidos. C. Un ligando y una proteína son idénticos en términos de su capacidad para interactuar con el sitio activo, ya que se unen a él de la misma manera.	
9.	¿Cómo se relaciona la bioinformática con la cromatografía de gases?	Abierta

Fuente: Elaboración Propia

La pregunta número cuatro se analizó de acuerdo con unos criterios de evaluación especificados en las siguientes categorías (**Tabla 8**).

Tabla 8

Categorías pregunta 4

Categoría	Criterios
No apropiado	● No reconoce que la Bioinformática es un campo de las ciencias computacionales. ● No menciona algunas herramientas bioinformáticas y su uso.
Regular	● Reconoce que la Bioinformática es un campo de las ciencias computacionales que lleva a cabo el análisis de secuencias de moléculas biológicas. ● Menciona algunas herramientas bioinformáticas y su uso.

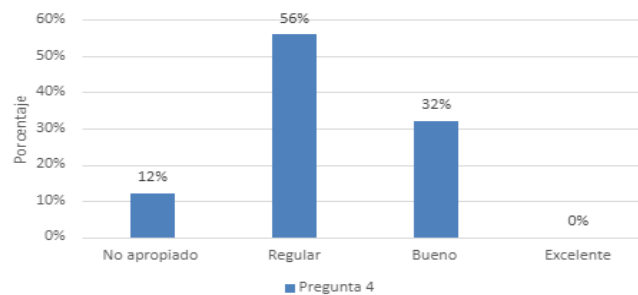
Bueno	● Reconoce que la Bioinformática es un campo de las ciencias computacionales que lleva a cabo el análisis de secuencias de moléculas biológicas. ● Menciona algunas herramientas bioinformáticas y su uso. ● Identifica que a través de la bioinformática se llevan a cabo análisis de genomas, ADN y proteínas.
Excelente	● Reconoce que la Bioinformática es un campo de las ciencias computacionales que lleva a cabo el análisis de secuencias de moléculas biológicas. ● Reconoce que la bioinformática permite hacer ensayos in silico para el desarrollo en diferentes áreas de la industria. ● Menciona que las herramientas bioinformáticas permiten estudiar a través de diferentes bases de datos y software la estructura detallada de moléculas en 3D. ● Identifica que a través de la bioinformática se llevan a cabo análisis de genomas, ADN y proteínas.

Fuente: Elaboración Propia

Agregando a lo anterior, se observa que según el gráfico de la **Figura 7**, el 32% de los estudiantes tienen respuestas categorizadas como buenas, un 56% regulares, mientras que el 12% clasificaron entre las no apropiadas. Este resultado muestra que los estudiantes tienen bases con respecto a la bioinformática, herramientas y softwares que seguramente adquirieron en una asignatura cursa como química computacional o bioquímica, sin embargo, deben fortalecer estas habilidades en el uso de herramientas bioinformáticas para análisis químicos y biológicos.

Figura 7

Gráfica de barra pregunta 4

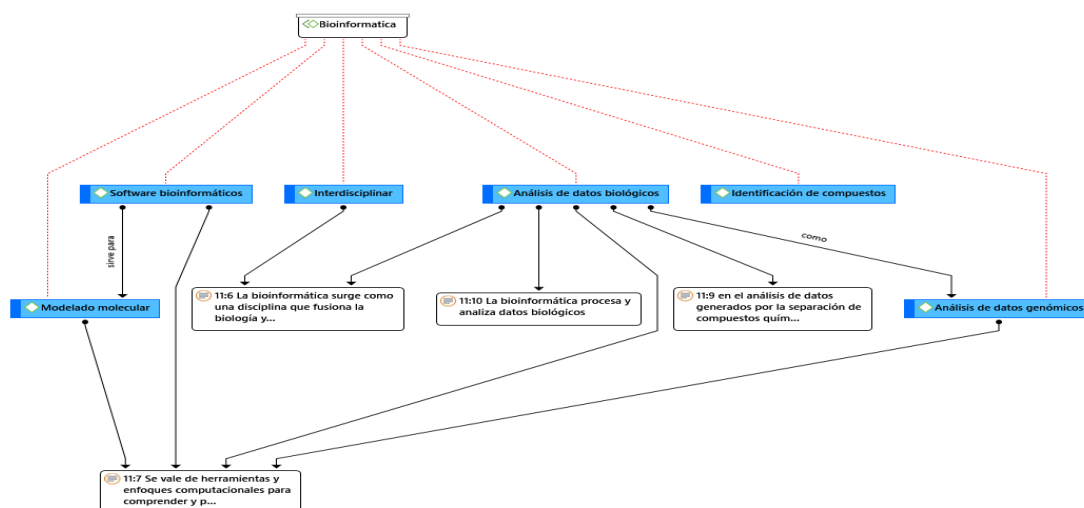


Fuente: Elaboración Propia

Para la sección de preguntas abiertas de bioinformática se analizaron a través de Atlas-Ti, se tomó como referencia una respuesta buena y una no apropiada, de acuerdo con los criterios de evaluación. Como se puede observar en la red semántica de la **Figura 8**, el estudiante 24 tuvo una respuesta categorizada como buena, el mencionó *“La bioinformática surge como una disciplina que fusiona la biología y la informática, enfocada en la gestión y análisis de datos biológicos. Se vale de herramientas y enfoques computacionales para comprender y procesar información vinculada a la biología molecular y la genómica.* Respuesta Tomada de estudiante 24 pregunta 4 prueba diagnóstico.

Figura 8

Red semántica estudiante 24 con categorización de respuesta buena



Fuente: Elaboración propia en Atlas Ti

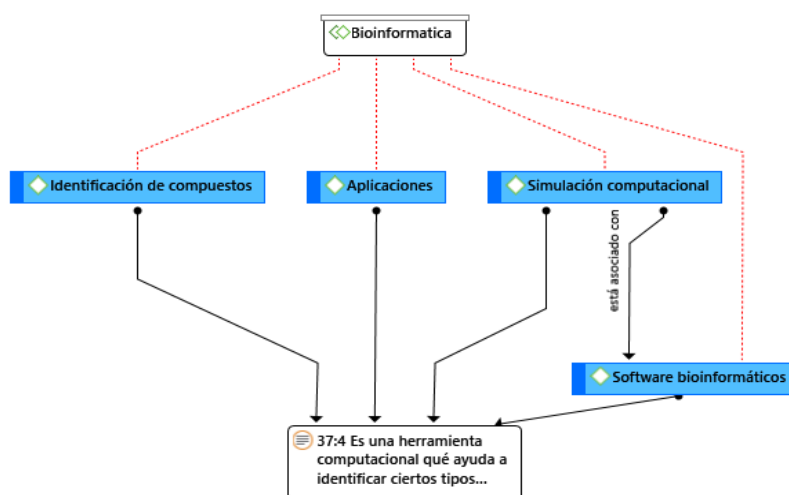
Respecto a la red semántica el estudiante establece sus conocimientos acerca de la bioinformática, desde la perspectiva de ¿qué es la bioinformática?, para qué sirve y sus aplicaciones, por lo cual es una respuesta que está bien articulada. En cuanto al contenido se resalta que la bioinformática es una ciencia que está enfocada en el análisis de datos biológicos como genes. Sin embargo, también se pueden analizar secuencias de ADN, proteínas y neurotransmisores, del mismo modo se refleja la interdisciplinariedad de la bioinformática al unir la biología con la informática para la simulación y análisis de datos.

Teniendo en cuenta lo anterior, los conocimientos del estudiante concuerdan con aspectos de la bioinformática debido a, que Martínez (2007), establece “la bioinformática es una ciencia de naturaleza interdisciplinaria, ya que se fundamenta en la biología y las ciencias de la computación; empero, se nutre en grado considerable de la fisicoquímica, las matemáticas, la estadística y la probabilidad”. (p.64).

Por otra parte, la respuesta del estudiante 13 fue categorizada como no apropiada, cuya respuesta fue *“Es una herramienta computacional que ayuda a identificar ciertos tipos de elementos, o que ayuda a estructuras, es una herramienta que permite la investigación”*. Respuesta tomada del estudiante 13 pregunta 4 prueba diagnóstico, para lo cual se realizó la siguiente red semántica (**Figura 9**).

Figura 9

Red semántica estudiante 13 con categorización de respuesta no apropiada



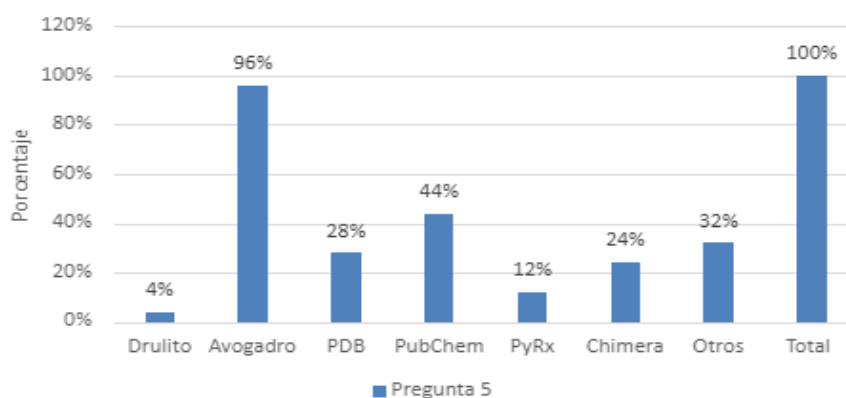
Fuente: Elaboración propia en Atlas Ti

Con base en la red semántica se identifica que los conocimientos del estudiante acerca de bioinformática son vanos y, además presentan errores conceptuales como, indicar que las herramientas computacionales ayudan a identificar algunos elementos, es pertinente aclarar que la bioinformática no es una herramienta de identificación, si no por el contrario analiza y permite la simulación de las estructuras biológicas en 3D, para conocer posibles interacciones, mejores conformaciones y un nivel detallado de la estructura, esto último contradice la afirmación del estudiante al aludir que identifica elementos, pues la bioinformática está centrada en el análisis de estructuras complejas y no de un elemento.

Posteriormente, se analizó las preguntas cinco y seis para identificar cuál fue la respuesta de los estudiantes con respecto al uso herramientas bioinformáticas. A continuación, encontrará las gráficas específicas para su interpretación (**Figura 10**).

Figura 10

Gráfica de barras pregunta 5



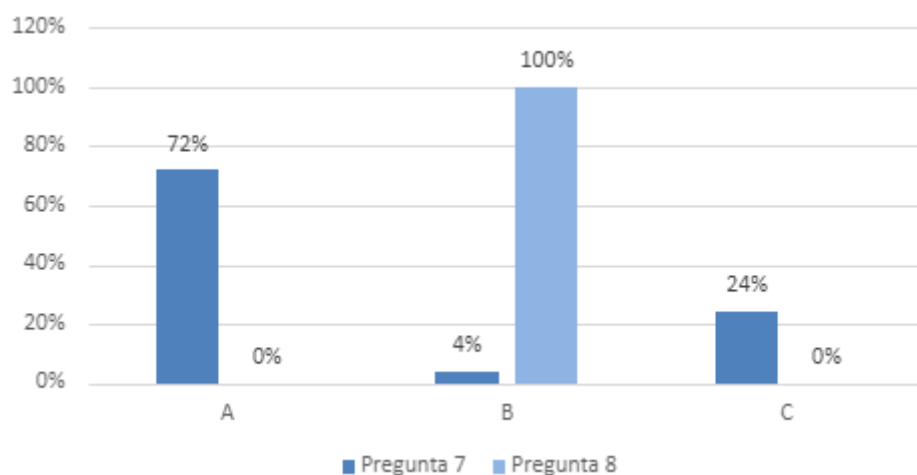
Fuente: Elaboración Propia

Según el diagrama anterior, se puede observar que la mayoría de los estudiantes conoce al menos un programa o software bioinformático, entre los cuales están DruLito, Avogadro, PubChem, PyRx, Chimera. Sin embargo, en la pregunta seis se evidenció que el 12% de estudiantes incluso conocen otros programas bioinformáticos como Orca, Chemsketch y Gabedit.

Al mismo tiempo, las preguntas siete y ocho que corresponden a preguntas cerradas, fueron asociadas a través de una gráfica, para poder identificar las respuestas (**Figura 11**).

Figura 11

Gráfica de barras pregunta siete y ocho



Fuente: Elaboración propia en Atlas Ti

Continuando con lo anterior, la respuesta a la pregunta siete corresponde a la A, por lo se evidencia que el 72% de estudiantes reconocen correctamente que el docking es una técnica computacional que permite predecir estructuras moleculares y formas de enlace más favorables entre una proteína y un ligando, no obstante el 24% como primera percepción consideran que el docking es un método para determinar la estructura tridimensional de una molécula y finalmente el 4% propone que estudia las propiedades de los compuestos moleculares desde los aminoácidos hasta la formación de la proteína; lo que significa que algunos pueden confundir el docking con el uso de otros softwares informáticos, sin embargo, este se realiza en PxRy.

Así mismo en la pregunta ocho el 100% reconocieron que los ligandos son moléculas pequeñas, que pueden tener funciones de hormona, receptor, neurotransmisor y fármaco, mientras que las proteínas son macromoléculas necesarias para la estructura, función y regulación de los tejidos.

Finalmente, la pregunta nueve tiene las siguientes categorías con las cuales se realizó su respectiva clasificación (**Tabla 9**).

Tabla 9*Categorías pregunta 9*

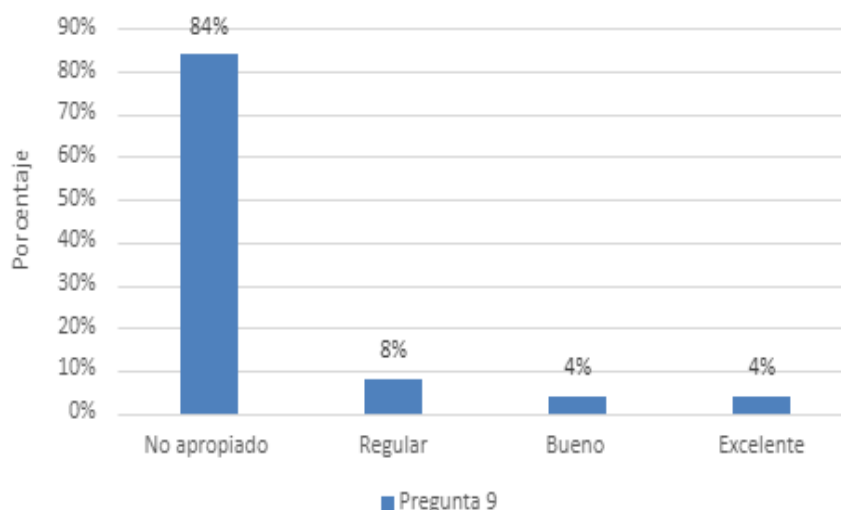
Categoría	Criterios
No apropiado	● No reconoce la relación entre la bioinformática y la cromatografía de gases. ● Menciona la bioinformática y la cromatografía de forma independiente.
Regular	● Establece la relación entre la cromatografía y la bioinformática de manera básica.
Bueno	● Establece y explica la relación entre la cromatografía y la bioinformática. ● Nombra algunos ejemplos.
Excelente	● Identifica el aporte de la bioinformática y la cromatografía de gases. ● Relaciona la cromatografía de gases con la bioinformática. ● Menciona ejemplos de cómo están relacionadas.

Fuente: Elaboración Propia

A través de la categorización de los resultados mediante los criterios de evaluación nombrados anteriormente, se obtuvo la siguiente gráfica (**Figura 12**), donde se evidencia que el 84% de las respuestas de los estudiantes fueron clasificadas como no apropiadas, sin embargo, un 8% fueron regulares, un 4% quedaron clasificadas como buenas y 4% excelentes. Lo que significa que la mayoría de estudiante aún no logran articular cual es la relación entre bioinformática y la cromatografía, como un ensayo in silico y una técnica analítica que se complementan en el área de la investigación.

Figura 12

Gráfica de barras preguntas 9

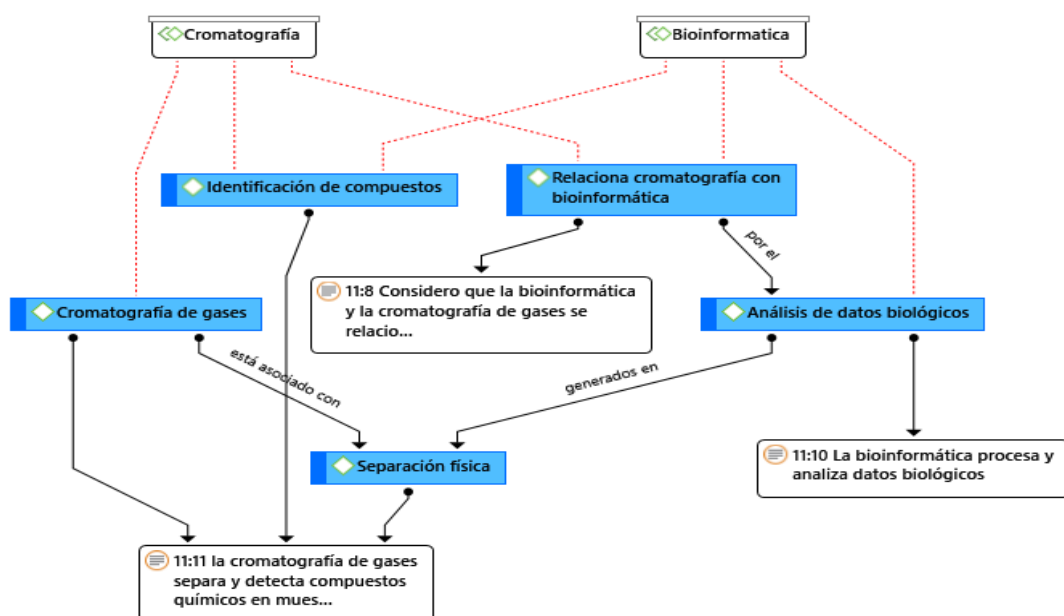


Fuente: Elaboración Propia

Dado que, la pregunta 9 tuvo un alto porcentaje de respuestas no apropiadas y un mínimo porcentaje de respuestas buenas referente a la relación entre la cromatografía con la bioinformática, a través de la red semántica se ejemplifica los aspectos que reúnen una respuesta para que sea categorizada como buena y no apropiada. En tal sentido, el estudiante 24 con una respuesta buena relacionó la cromatografía de gases con la bioinformática de la siguiente manera: “*Considero que la bioinformática y la cromatografía de gases se relacionan en el análisis de datos generados por la separación de compuestos químicos. La bioinformática procesa y analiza datos biológicos, mientras que la cromatografía de gases separa y detecta compuestos químicos en muestras. Ambas disciplinas se combinan para interpretar y comprender la composición de muestras biológicas o químicas*”. De acuerdo con la respuesta se estableció la red semántica (**Figura 13**)

Figura 13

Red conceptual estudiante 24 con categorización de respuesta buena



Fuente: Elaboración propia en Atlas Ti

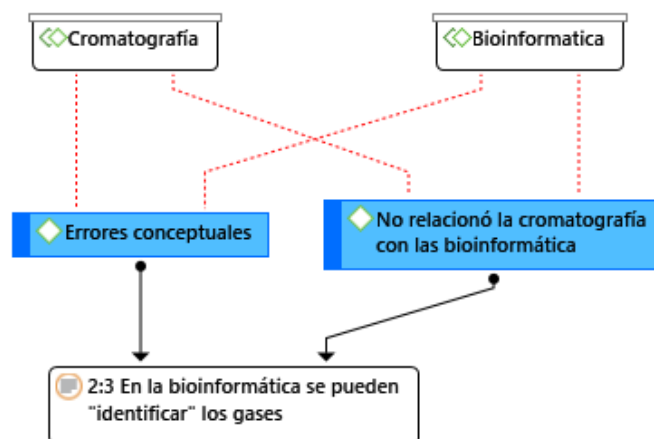
Referente a la red semántica el estudiante establece la relación de la cromatografía con la bioinformática y hace la distinción entre las dos, si bien, la cromatografía identifica y separa compuestos, la bioinformática permite analizar los datos generados a partir de la cromatografía. De acuerdo con la revisión bibliográfica, la relación de estas disciplinas no se establece desde la identificación y separación de un compuesto no biológico como las sustancias psicoactivas, si no directamente desde compuestos biológicos que pueden ser separados desde esta técnica y posteriormente se puede simular su comportamiento por medio de software bioinformáticos.

No obstante, la construcción de los conocimientos en el módulo de cromatografía de gases está centrado en la identificación y separación de un mix de catinonas sintéticas, cuya SPA identificada entra en simulación 3D mediante los softwares informáticos para conocer su interacción con la proteína y los neurotransmisores del cuerpo, de esta manera se evidencia como la cromatografía se articula con la bioinformática.

De otro modo, el estudiante 15 tuvo una categorización no apropiada, mencionó lo siguiente: “en la bioinformática se pueden identificar los gases” respuesta tomada del estudiante 15 pregunta 9 prueba diagnóstico, por lo cual se refleja la red semántica en la **Figura 14**.

Figura 14

Red conceptual estudiante 15 con categorización de respuesta no apropiada



Fuente: Elaboración propia en Atlas Ti

De acuerdo con la red semántica la respuesta es no apropiada debido a, que el estudiante no identifica cuál es la relación entre la cromatografía con la bioinformática, posiblemente al mencionar que la bioinformática sirve para identificar gases fue porque asocio la cromatografía de gases con el estado de la materia gaseoso. Sin embargo, la bioinformática no identifica, por el contrario, simula y analiza estructuras en estado sólido por ello el error conceptual.

8.1.2. Sustancias Psicoactivas

Esta sección está compuesta por dos preguntas que tienen el objetivo de identificar cuáles son los conocimientos previos que los estudiantes tienen sobre sustancias psicoactivas y sus tipos, a continuación, está una tabla con las respectivas preguntas (**Tabla 10**).

Tabla 10

Preguntas sección sustancias psicoactivas

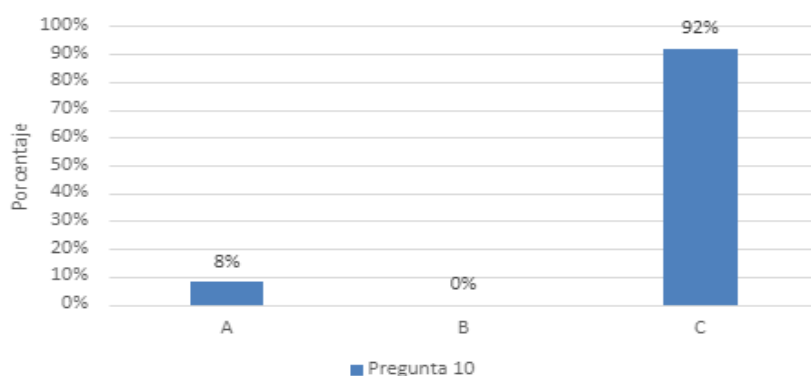
No.	Pregunta	Tipo de pregunta
10.	Una sustancia psicoactiva es: • Es una sustancia química de origen sintético que afecta el sistema nervioso central • Es una sustancia química de origen natural que afecta el sistema nervioso central • Es una sustancia química de origen natural y sintético que afecta el sistema nervioso central.	Cerrada
11.	Del siguiente listado, identifique cuáles son sustancias psicoactivas: Catinonas, alcohol, anfetaminas, azúcar, cigarrillo, etilona, cocaína, fentanilo y morfina.	Cerrada

Fuente: Elaboración Propia

Teniendo en cuenta las preguntas realizadas en la tabla anterior, la respuesta a la pregunta diez corresponde a la C, por lo que se identifica que el 92% de estudiantes reconoce una sustancia psicoactiva como una sustancia química de origen natural y sintético que afecta el sistema nervioso central, no obstante el 8% considero que una sustancia psicoactiva es una sustancia química de origen sintético que afecta el sistema nervioso central, lo que corresponde a un error conceptual, ya que no reconocen que hay sustancias psicoactivas que tienen un origen natural (Figura 15).

Figura 15

Gráfica de barras pregunta 10

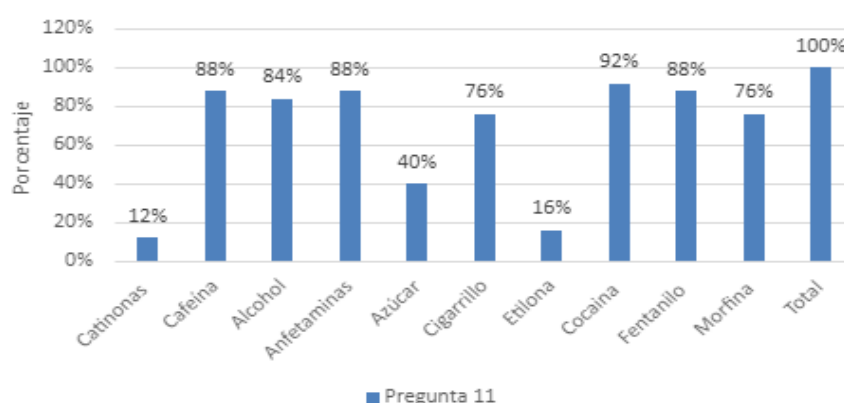


Fuente: Elaboración Propia

Por último, según la interpretación de la pregunta once **Figura 16**, se identifica que reconocen como sustancia psicoactiva correctamente a las catinonas en un 12%, la cafeína a un 88%, el alcohol un 84%, las anfetaminas a un 88%, el cigarrillo a un 76%, etilona 16%, cocaína 72%, fentanilo 88% como una sustancia psicoactiva. Por el contrario, identifican el 40% que el azúcar es una sustancia psicoactiva, que en efecto no hace parte de estas, ya que no afecta directamente en el sistema nervioso central del cuerpo.

Figura 16

Gráfica de barras pregunta 11



Fuente: Elaboración Propia

Teniendo en cuenta todas las preguntas analizadas anteriormente, se identifica que la población tiene diferentes errores ya descritos en cada una de las respuestas. Por ello es importante decir que a partir de sus necesidades de aprendizaje se diseñó el Massive Open Online Courses enfocado al aprendizaje de cromatografía de gases, bioinformática y sustancias psicoactivas.

8.2. Diseño y aplicación del MOOC

8.2.1. Diseño del MOOC

El Massive Open Online Course fue diseñado en el Moodle de la Universidad Pedagógica Nacional de Colombia como plataforma para la implementación del curso, este MOOC se caracteriza por tener una licencia libre y hacer el uso de recursos y herramientas como

ilustraciones, softwares educativos, videotutoriales y actividades interactivas. El curso fue planteado para desarrollarse en 35 horas durante cuatro semanas, la población objetivo fue convocada a través de un flyer de preinscripción (**Anexo 2**).

Teniendo en cuenta lo anterior, el curso fue diseñado y programado a través del programa Visual Studio Code, con siete módulos interactivos los cuales fueron validados por dos expertos para revisar la estructuración del contenido temático. De igual manera, cada módulo tiene sus respectivas ilustraciones, lecturas y actividades (**Anexo 3**), que serán descritas a continuación. Es importante nombrar, que este curso cuenta con una certificación expedida por el departamento de química de la Universidad Pedagógica Nacional, donde se reconoce que realizó un curso de 35 horas acerca de conceptos básicos de cromatografía (**Anexo 31**). Además, cuenta con una guía estudiante para establecer una ruta de aprendizaje adecuada (**Anexo 32**) y una guía docente que está compuesta por los objetivos del curso, el enfoque pedagógico, población a la cual está dirigida el MOOC y las actividades a desarrollar en cada módulo con sus objetivos y respectivos criterios de evaluación (**Anexo 33**).

8.2.1.1. Módulo introductorio

Este módulo fue diseñado con el fin de dar una introducción y un contexto al curso desde la historieta del ¿Que mató a Mr.Khat? (**Anexo 4**), aquí se encuentran tres recursos o actividades a desarrollar para comenzar el proceso o ruta de aprendizaje (**Tabla 11**).

Tabla 11

Actividades módulo introductorio

Actividad	Descripción	Objetivo
Foro introductorio	Los participantes deben ingresar al foro y responder las siguientes preguntas: 1. Nombre completo y a qué te dedicas. 2. ¿Cuáles son tus expectativas en este curso virtual que inicias?	Identificar las expectativas que tienen los participantes acerca del MOOC.

Nube de palabras	Por medio de la aplicación Mentimeter, los participantes deben escribir tres palabras o conceptos que relacionan con: ● Cromatografía ● Sustancias Psicoactivas ● Bioinformática ● Caso de Mr. Khat	Identificar las palabras con las que asocian conceptos clave como cromatografía, sustancias psicoactivas y bioinformática.
Prueba diagnóstico	Los participantes deben diligenciar el respectivo Forms de la prueba diagnóstico.	Reconocer los conocimientos que poseen cada uno de los estudiantes con respecto a temáticas como la Cromatografía, Bioinformática y Sustancias Psicoactivas.
Mapa conceptual	Para realizar el mapa conceptual, el estudiante debe principalmente leer la lectura titulada "La bioinformática como herramienta de la cromatografía de gases para identificar alcaloides" qué abarca diferentes conceptos que ayudan a comprender y tejer redes.	Identificar la estructura cognitiva de los estudiantes a través del análisis de la construcción de un mapa conceptual.

Fuente: Elaboración Propia

8.2.1.2. Módulo sustancia psicoactivas

Este módulo fue diseñado con el objetivo de aprender acerca de las Sustancias Psicoactivas y su mecanismo de acción, aquí se encuentran dos actividades claves para identificar los conocimientos adquiridos (**Tabla 12**).

Tabla 12

Actividades módulo sustancias psicoactivas

Actividad	Descripción	Objetivo
Cuestionario: ¿Que sabe sobre	El estudiante debe ver un video llamado "Que son las sustancias	Identificar si los estudiantes comprenden que es una

sustancias psicoactivas? (Ver anexo 5)	psicoactivas - Bienestar UPB saludable” y leer una infografía sobre clasificación de las sustancias psicoactivas, para así posteriormente ir a resolver el cuestionario en Forms.	sustancia psicoactiva y sus respectivas clasificaciones.
Cuestionario: Mecanismo de acción sustancias psicoactivas. (Ver anexo 6)	Para resolver el cuestionario, se debe ver previamente un video titulado “Mecanismo de la Adicción a las Drogas en el Cerebro, Animación. Alila Medical Media Español” e interactuar con un software educativo llamado Mouse Party.	Identificar si los estudiantes reconocen cuáles son los tipos de mecanismos de acción que tiene una sustancia psicoactiva, dependiendo si es estimulando, depresora o alucinógena.

Fuente: Elaboración Propia

8.2.1.3. Módulo bioinformática

Este módulo fue diseñado con el objetivo de fortalecer el uso de herramientas bioinformáticas con base a los mecanismos de neurotransmisión producidos por las nuevas sustancias psicoactivas. De acuerdo con lo anterior, está conformado por cinco actividades claves para identificar los conocimientos y habilidades adquiridas en el uso de softwares bioinformáticos (Tabla 13).

Así mismo, este módulo se caracteriza por tener un video tutorial y un tutorial escrito por cada software bioinformático, lo que puede contribuir a un manejo y entendimiento óptimo de cómo es el proceso de ingreso de una sustancia psicoactiva en el sistema nervioso central.

Tabla 13

Actividades módulo bioinformática

Actividad	Descripción	Objetivos
PDB: Búsqueda de proteínas (Ver anexo 7)	La actividad consiste en seleccionar y descargar la proteína de mejor calidad según los parámetros establecidos.	Reconocer si los estudiantes desarrollaron habilidades en el manejo de bases de datos.
PubChem y Avogadro:	La actividad consta de descargar los ligandos serotonina, dopamina,	Identificar si los estudiantes logran realizar la

Búsqueda y optimización de los ligandos.	norepinefrina y la sustancia psicoactiva de la base de datos PubChem y luego optimizarlos en Avogadro.	optimización de los ligandos.
(Ver anexo 8)		
Chimera: Limpieza de la proteína.	Se debe limpiar la proteína que se seleccionó en la actividad de PDB, es decir, se debe eliminar las cadenas con peor sitio activo y las moléculas de agua.	Distinguir si los estudiantes lograron desarrollar habilidades en el manejo del software Chimera.
(Ver anexo 9)		
PxRy: Docking y conformación más estable.	Se debe realizar el docking molecular entre la proteína seleccionada y limpia con los neurotransmisores dopamina, serotonina, norepinefrina y la sustancia psicoactiva.	Identificar si los estudiantes a través del software PxRy comprenden la interacción proteína - ligando, a través de la interpretación de los valores de la energía de afinidad con el sitio activo de la proteína.
(Ver anexo 10)		
DruLiTo: Potencial farmacológico.	Consta de calcular las propiedades y la Lipinski Rule de la sustancia psicoactiva que se está analizando.	Identificar si los estudiantes comprenden la regla de Lipinski y si la sustancia psicoactiva cruza o no la barrera hematoencefálica del cerebro.
(Ver anexo 11)		

Fuente: Elaboración Propia

8.2.1.4. Módulo cromatografía

Este módulo fue diseñado con el objetivo de comprender conceptos básicos sobre cromatografía de gases mediante el caso forense de Mr. Khat. De acuerdo con lo anterior, está conformado por cuatro actividades claves para identificar los conocimientos y habilidades adquiridos en la técnica cromatográfica (**Tabla 14**).

Tabla 14

Actividades módulo cromatografía de gases

Actividad	Descripción	Objetivo
Actividad interactiva: Conceptos básicos	Consiste en seleccionar la pareja de cada uno de los conceptos mencionados. Para poder resolver esta	Identificar si los estudiantes relacionan conceptos básicos de cromatografía con su

de cromatografía. (Ver anexo 12)	actividad el estudiante debe interactuar con la historia de la cromatografía, clasificación y descripción general de los métodos cromatográficos.	respectiva descripción.
Actividad interactiva: Partes del cromatógrafo. (Ver anexo 13)	Consta de relacionar una función del cromatógrafo con la imagen de la parte que la emplea. Para realizar correctamente la actividad, el estudiante debe ver el video interactivo de las partes del cromatógrafo.	Reconocer si los estudiantes identifican las partes de un cromatógrafo de gases y su función.
Actividad interactiva: Selección de una columna cromatográfica. (Ver anexo 14)	Se basa en realizar una relación de columnas o asociar una pareja a un respectivo concepto.	Identificar si los estudiantes relacionan conceptos claves para la selección de una columna cromatográfica.
Cuestionario: Tipos de detectores. (Ver anexo 15)	Consiste en responder seis preguntas enfocadas a qué tipo de detector usar, en diferentes casos de análisis planteados. Donde cuatro son de selección múltiple y dos son preguntas abiertas.	Identificar si los estudiantes reconocen los tipos de detectores que se deben usar según alguna necesidad analítica.

Fuente: Elaboración Propia

8.2.1.5. Módulo desarrollo del método

Este módulo fue diseñado con el objetivo de analizar las causas y consecuencias de la muerte misteriosa de Mr. Khat, a través de una aproximación a la validación del método analítico y el uso de herramientas bioinformáticas para confirmar su sobredosis. De acuerdo con lo anterior, está conformado por una actividad final que reúne todas las temáticas abordadas en MOOC para llegar a una conclusión sobre la muerte de Mr.Khat (**Tabla 15**).

Tabla 15

Actividades módulo desarrollo del método

Actividad	Descripción	Objetivo
Actividad Final: ¿Que mató a Mr. Khat? (Ver anexo 16)	La actividad final consiste en tres puntos, donde principalmente se debe analizar dos cromatógrafos para identificar qué sustancia psicoactiva mató a Mr.Khat. Posteriormente se debe usar PXRy y DruLito para identificar si la sustancia psicoactiva atraviesa la barrera hematoencefálica del cerebro y cómo es su interacción con el sitio activo de la proteína con respecto a los neurotransmisores. Finalmente, el estudiante debe realizar una conclusión de todo lo evidenciado respondiendo y articulando cual es el mecanismo de acción de la SPA.	Identificar si en los estudiantes hubo un aprendizaje autónomo y efectivo de conceptos relacionados a cromatografía de gases, sustancias psicoactivas y bioinformática.

Fuente: Elaboración Propia

Ahora bien, parte fundamental de la estructura de este módulo fue una aproximación a la validación de un método analítico en cromatografía de gases, a través de una metodología eficaz para un análisis cualitativo y cuantitativo de nuevas sustancias psicoactivas como las catinonas sintéticas. Para comenzar, se preparó un MIX de alcaloides en el cual se encontraban diferentes patrones o estándares de sustancias psicoactivas, esto con el fin de desarrollar un método de identificación de SPA con respecto al tiempo de retención de la muestra problema, la preparación de la muestra se realizó según lo especifica **(Tabla 1)**.

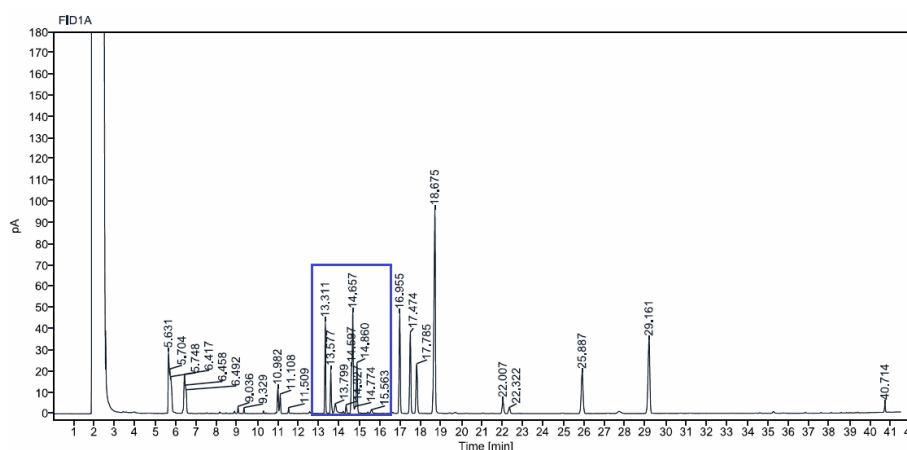
Para realizar la validación del método inicialmente, hubo una revisión bibliográfica exhaustiva sobre algún método que se haya realizado con respecto a las sustancias que se quieren analizar o separar, en este caso las catinonas sintéticas, por lo que la base de referencia para las condiciones de cromatografía se establecieron a partir de métodos recomendados para la identificación y el análisis de las catinonas sintéticas en los materiales incautados por la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC) (2016) **(Tabla 2)**, las cuales fueron adaptadas para ser usadas según las condiciones ambientales en el laboratorio. El proceso del desarrollo del método consta de tres modificaciones que se realizaron a las rampas de calentamiento; la temperatura en las rampas de un método son factores que permiten

aumentar el tiempo de retención de una muestra para obtener una mejor separación o resolución.

Teniendo en cuenta las especificaciones del funcionamiento del cromatógrafo recomendadas por la UNODC, se realizó una primera modificación a las rampas de temperatura (**Anexo 17**); después de correr el MIX de alcaloides en el cromatógrafo con la primera modificación, se obtuvo el cromatograma de la (**Figura 17**).

Figura 17

Cromatograma MIX alcaloides - Primera modificación

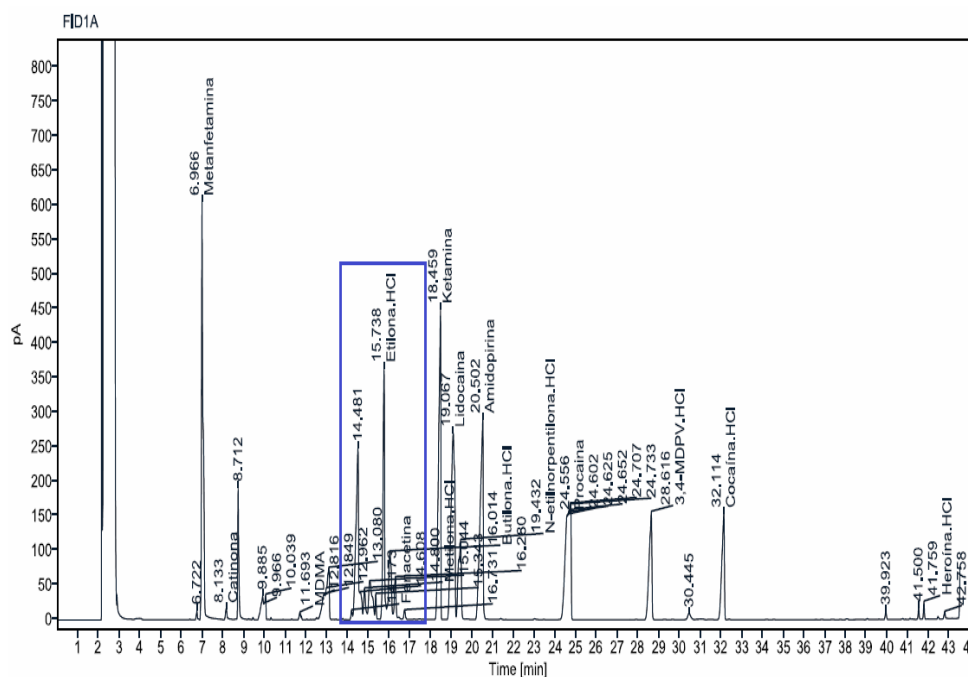


Fuente: Elaboración propia equipo cromatógrafo de gases (CG)

Al revisar el cromatograma anterior, se puede evidenciar que hay presencia de picos o señales que coeluyen desde los 13 a 16 minutos. Teniendo en cuenta lo anterior, estas señales no tienen una buena resolución, por lo que se debe modificar nuevamente las rampas de temperatura, para así poder aumentar el tiempo de retención en algunas regiones del cromatograma. Por ello, se desarrolla un método con una segunda modificación (**Anexo 18**), al correr el MIX de alcaloides en el cromatógrafo con el método de la segunda modificación, se obtuvo el siguiente cromatograma (**Figura 18**).

Figura 18

Cromatograma MIX alcaloides - Segunda modificación

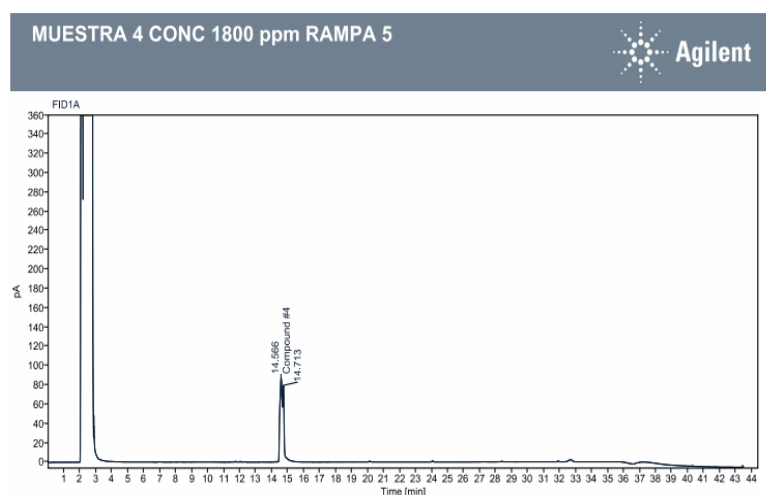


Fuente: Elaboración propia equipo CG

A partir del cromatograma anterior, se logra obtener el MIX de alcaloides con una separación y resolución “aceptable”, como se visualiza en la sección de los 13 a los 16 min. En ese sentido, se identifica tiempos de retención de 14.481 y 15.738 min, los cuales no se lograban visualizar en la primera modificación. A partir de lo anterior, se procede a realizar el análisis de las muestras individuales, esto para comenzar a verificar el tiempo de retención en el que sale la señal de cada sustancia psicoactiva. A continuación, está el cromatograma de la muestra problema del caso forense de Mr. Khat (**Figura 19**), para ver los cromatogramas de las otras muestras diríjase (**Anexo 19**).

Figura 19

Cromatograma Metilona

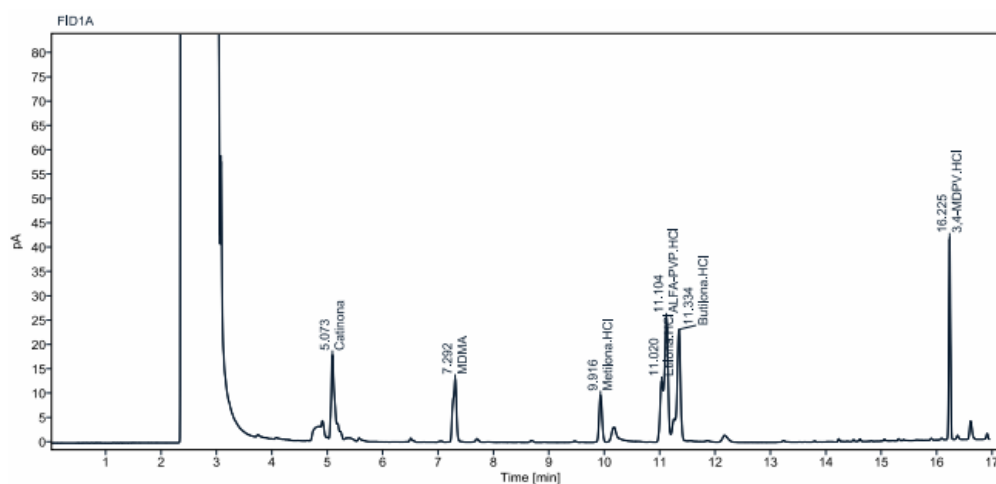


Fuente: Elaboración propia equipo CG

A partir de lo anterior, se logró identificar cuáles son los tiempos de retención de cada una de las sustancias psicoactivas que fueron analizadas, en especial las catinonas sintéticas. Sin embargo, se evidencio la necesidad de crear un nuevo método únicamente para nuevas sustancias psicoactivas (**Anexo 20**), el cual después de correr un MIX únicamente de catinonas por medio de este método, se obtuvo el siguiente cromatograma (**Figura 20**).

Figura 20

Cromatograma MIX Catinona - Método NSP



Fuente: Elaboración propia equipo CG

En el cromatograma anterior, se evidencia una buena separación de todos los patrones de Catinonas sintéticas en el MIX, lo que permite realizar un buen análisis con respecto a la muestra problema para saber que Catinona mató a Mr.Khat; las muestras de las catinonas se corrieron de forma individual es este método, para observar sus cromatogramas (**Anexo 21**).

8.2.1.6. Módulo retroalimentación

Finalmente, la retroalimentación es un módulo que tiene como objetivo dar a conocer el resultado de la actividad final y la investigación de todo el caso forense (**Anexo 22**), esto con el fin de que el estudiante compruebe si logró encontrar exitosamente ¿que mató a Mr.Khat?.

8.2.2. Validación del MOOC

Para asegurar la calidad y pertinencia del MOOC, se ha sometido el diseño del curso a una revisión por parte de expertos en el campo. Este proceso de validación por pares permitió identificar áreas de mejora y ajustar el contenido para garantizar que el curso sea adecuado tanto desde el punto de vista pedagógico como tecnológico. En consecuencia, se evaluó la pertinencia de los contenidos, la eficacia de las actividades y la claridad de los objetivos de aprendizaje, con el fin de garantizar una efectividad del MOOC en el aprendizaje de la cromatografía de gases, teniendo en cuenta las necesidades de los estudiantes.

En primera instancia, se realizó la revisión y validación del diseño del MOOC por un experto en gestión de contenido del Centro de Innovación y Desarrollo Educativo y Tecnológico CINNET de la Universidad Pedagógica Nacional. Su expertice, en el campo de las nuevas tecnologías educativas, la producción de contenidos académicos y procesos de virtualización de programas fueron fundamentales para identificar fortalezas, debilidades y áreas de mejora en el diseño inicial del curso.

Para la primera fase de revisión, se presentó un prototipo del curso, los cuales tenían todos los elementos necesarios, como módulos de contenido, actividades y evaluaciones. De tal manera, que todos los elementos estén correctamente organizados y presentados, y que a su vez el

contenido sea coherente, que la estructura del curso sea lógica y que los recursos sean accesibles. Teniendo en cuenta lo presentado, el gestor de contenido realizó los ajustes necesarios, en cuanto a la reestructuración de módulos, la integración de nuevos recursos y la mejora de la interacción en el curso.

Una de las recomendaciones fue el uso del software Visual Studio Code, para mejorar la interacción dentro del curso, ya que es un editor de código fuente ligero y versátil creado para configurar y personalizar los entornos de desarrollo. Esta recomendación se basó en la necesidad de optimizar el desarrollo y la funcionalidad del curso, proporcionando un entorno más eficiente para la creación y gestión de contenido interactivo, y contribuir a una experiencia de aprendizaje más fluida y enriquecedora para los estudiantes. Luego, de realizar los ajustes pertinentes, el diseño del curso se sometió a una revisión final por parte del experto, para asegurar que todas las modificaciones han sido implementadas correctamente y que el MOOC cumple con los parámetros de calidad requeridos. Por consiguiente, el diseño es validado por el experto y ha sido aprobado en todos los aspectos evaluados.

En segunda instancia, se realizó la validación del diseño por parte de otro experto en el tema, un gestor instructor de Khymos SAS, en el que presta servicio integral para laboratorios de análisis químico, en cuanto al entrenamiento en las técnicas de análisis y el manejo de los equipos. La revisión se hizo mediante una entrevista no estructurada con el fin de obtener una perspectiva amplia y detallada sobre el contenido y estructura del curso. Este tipo de entrevista permite al experto expresar sus opiniones de manera libre y abierta, sin unas preguntas predefinidas que limiten la conversación.

Durante la entrevista, se presentó al experto cada módulo del curso de manera detallada, permitiéndole revisar y analizar el contenido en profundidad, de tal forma, que se le solicitó la opinión del MOOC desde el contenido y que opiniones tenía al respecto, frente a qué aspectos faltaban por incluir o mejorar. A medida que se abordaba cada sección, el experto ofreció sus observaciones y recomendaciones específicas, lo que permitió proporcionar una retroalimentación constructiva sobre aspectos como la claridad, relevancia y efectividad del contenido. Como su experticia en el tema de cromatografía de gases es amplia, se realizaron observaciones respecto a los conceptos tratados en el módulo de cromatografía de gases, ya

que debían ser complementados para una mejor comprensión por parte de los estudiantes. Asimismo, no olvidar las referencias bibliográficas de donde se obtiene la información.

Las recomendaciones proporcionadas por el experto durante la entrevista resultaron ser sumamente valiosas para la mejora del curso. Sus observaciones y sugerencias permitieron identificar y subsanar las áreas que requerían ajustes, logrando así un producto final de mayor calidad y pertinencia. Gracias a esta rigurosa evaluación, el curso ha sido validado por el experto, quien avala su capacidad para cumplir con los objetivos planteados. De esta manera, el MOOC se implementó a través de una prueba piloto, con el objetivo de obtener una validación adicional por parte de los estudiantes.

8.2.3. Aplicación del MOOC

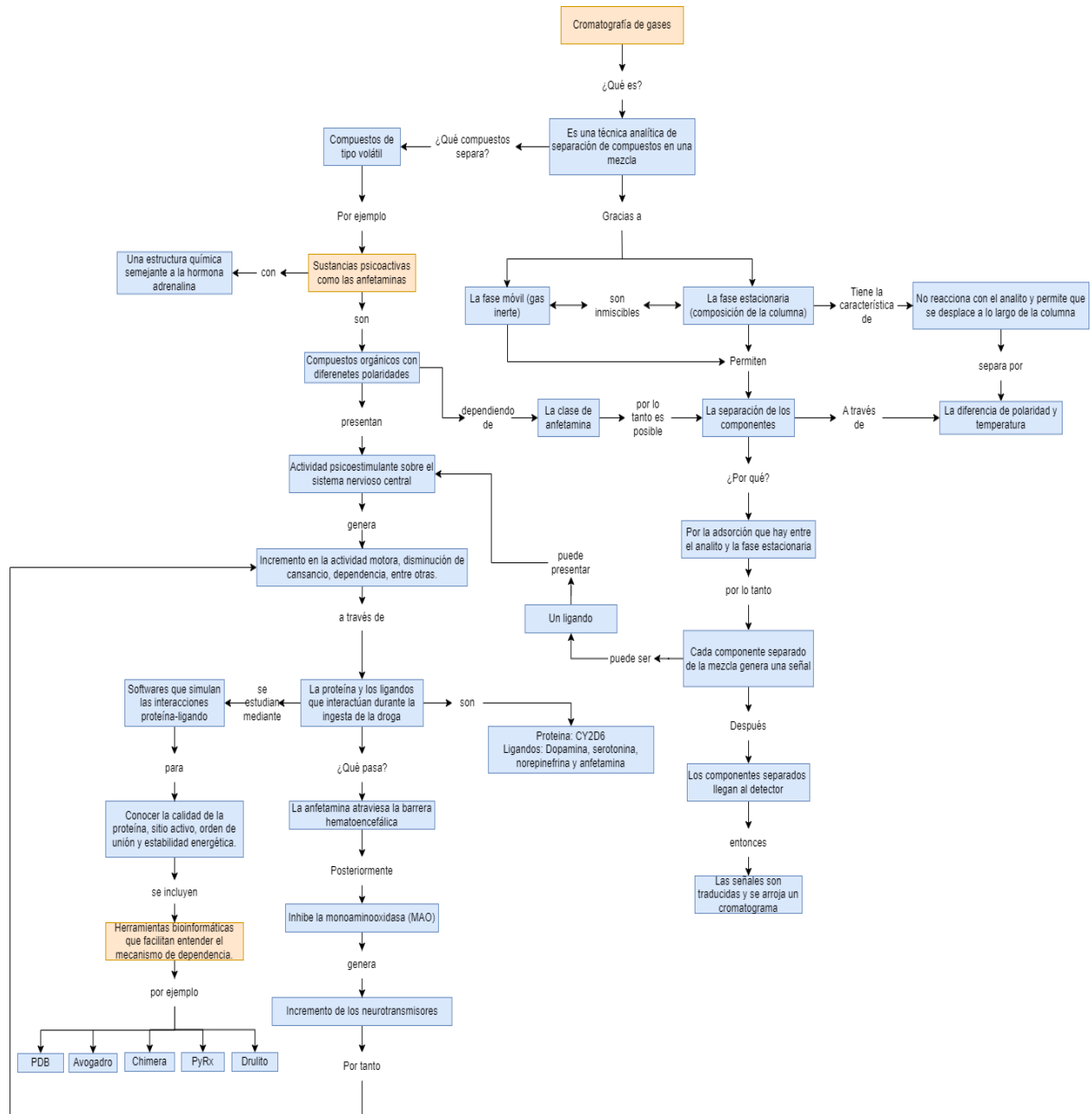
Luego de realizar todo el diseño y la validación del Massive Open Online Courses Muerte Misteriosa: Cromatografía de gases en el caso forense de Mr. Khat, se realizó la respectiva aplicación del mismo a la población objetivo descrita en la metodología, por lo que a continuación, se evidencia cómo fue el desarrollo de los participantes en las actividades de cada uno de los módulos.

8.2.3.1. Introducción

El presente análisis tiene como objetivo evaluar la organización y representación de los conocimientos de cromatografía de gases, bioinformática y sustancias psicoactivas bajo un contexto basado en el estudio de las anfetaminas. Para ello se utilizó como punto de comparación un mapa conceptual elaborado por un experto, el cual actuó como un patrón de referencia al momento de evaluar los mapas conceptuales realizados por los estudiantes y así identificar fortalezas y debilidades de los mapas realizados. En la **Figura 21** se presenta el mapa conceptual elaborado por el experto.

Figura 21

Mapa conceptual elaborado por el experto



Fuente: Elaboración propia en Diagramas.net

Teniendo en cuenta lo anterior, se establecieron cinco criterios de evaluación que permitieron determinar si el mapa cumple con los parámetros establecidos. A continuación, en la **Tabla 16**

se desglosan los criterios de evaluación propuestos para la evaluación de los mapas conceptuales.

Tabla 16

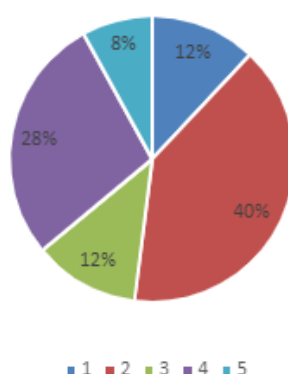
Criterios de evaluación actividad mapa conceptual

No.	Criterio de evaluación
1	Organiza de forma jerárquica los conceptos.
2	Hace uso de conectores para establecer las relaciones entre los conceptos.
3	Relaciona y conecta de manera correcta las proposiciones.
4	Establece conceptos claros y concisos.
5	Relaciona los conceptos de cromatografía, bioinformática y sustancias psicoactivas

Para llevar a cabo el análisis de los mapas realizados por los estudiantes, se utilizaron los cinco criterios de evaluación mencionados anteriormente. Cada criterio será evaluado de forma cuantitativa, asignando una calificación de acuerdo con una escala de 1 a 5, siendo 1 la calificación más baja y 5 la más alta. Los resultados obtenidos se presentan en la **Figura 22**.

Figura 22

Gráfica de torta actividad mapa conceptual



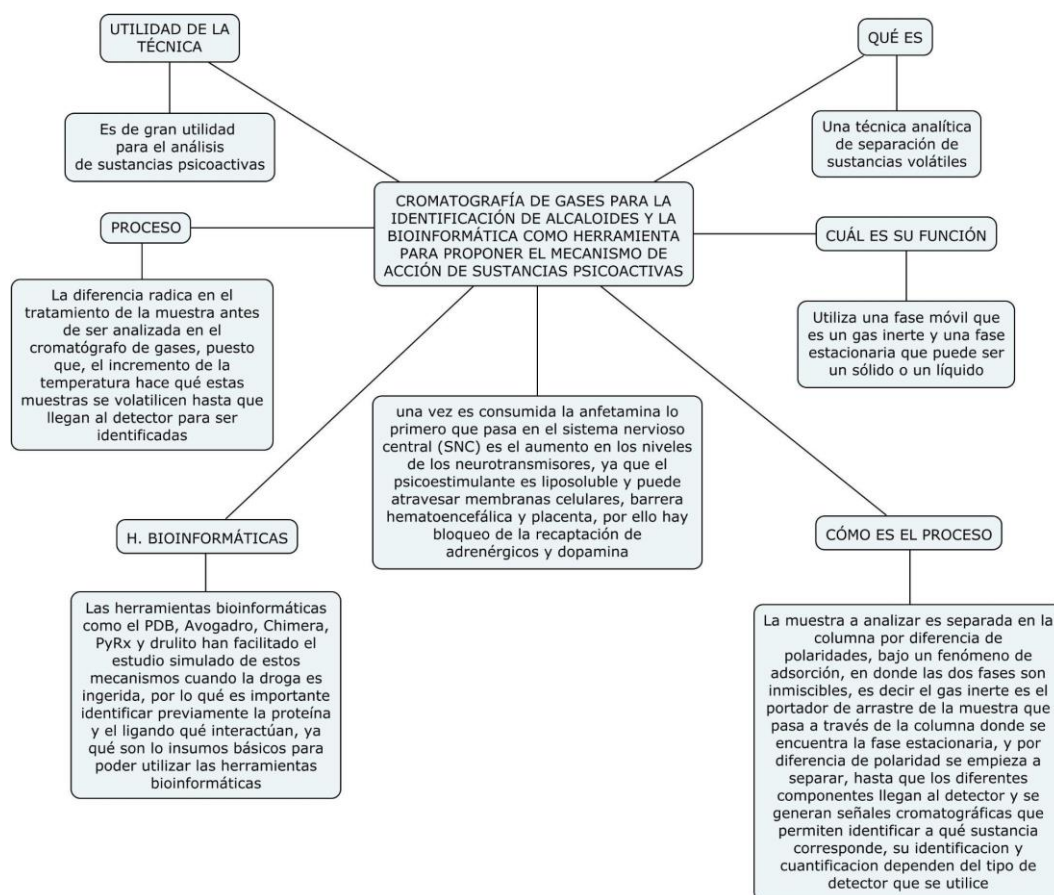
Fuente: Elaboración propia

El análisis de los mapas conceptuales evaluados revela que solo el 36% de los estudiantes logró una calificación superior a 3, es decir, aprobó, con calificaciones de 4 y 5. Esta distribución muestra que, mientras una parte considerable de los estudiantes demostró un dominio adecuado

del tema y una buena ejecución en la organización y representación de conceptos, la mayoría, es decir el 52%, no alcanzó el umbral de aprobación. Entre ellos, los que obtuvieron calificaciones de 1 o 2, indica que enfrentaron dificultades significativas en comprender y estructurar la información (**Figura 23**).

Figura 23

Mapa conceptual del estudiante con una calificación cuantitativa de 1.



Fuente: Versión ajustada con CmapTools

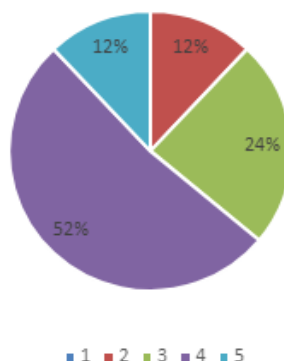
De acuerdo con la figura anterior, se identifica que las calificaciones entre 1 y 2, son debido a problemas en la claridad, precisión o jerarquización de los conceptos. Es decir, se identifican problemas en la capacidad de los estudiantes para estructurar la información de manera efectiva, lo que se traduce en una representación confusa o desorganizada del conocimiento. Por otro lado, hay falta de claridad en las conexiones entre conceptos, uso inadecuado de elementos gráficos, y una disposición de la estructura que no facilita la comprensión del tema.

8.2.3.2. Sustancias psicoactivas

Este módulo, se divide en dos actividades descritas en la **Tabla 12**. Inicialmente está el cuestionario sobre sustancias psicoactivas que está compuesto por cuatro preguntas de selección múltiple y dos preguntas abiertas, las cuales se clasificaron en unas categorías predeterminadas para realizar su análisis (**Anexo 23**). De acuerdo con lo anterior, esta actividad se analizó a partir de la siguiente gráfica (**Figura 24**).

Figura 24

Gráfica de torta cuestionario ¿Qué sabe sobre sustancias psicoactivas?



Fuente: Elaboración Propia

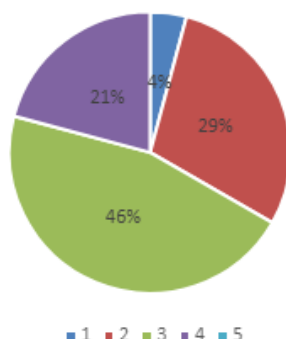
Donde se evidencia que el 88% de los estudiantes obtuvieron una calificación aprobatoria, es decir, que obtuvieron una calificación superior o igual a tres, en tanto que el 12% se ubican entre uno y dos. Este resultado muestra que, la mayoría de los estudiantes tienen claro los conceptos acerca de sustancias psicoactivas y tres clasificaciones.

Ahora bien, la segunda actividad del módulo es un cuestionario sobre el mecanismo de acción de sustancias psicoactivas, este se caracteriza por tener siete preguntas de selección múltiple, por lo que su clasificación se realiza de acuerdo al número de respuestas correctas basadas en

una escala de calificación de 1 a 5. Conforme a lo anterior, se analizó las respuestas de los estudiantes por medio del siguiente diagrama (**Figura 25**).

Figura 25

Gráfica de torta cuestionario mecanismo de acción SPA



Fuente: Elaboración propia

Del cual se revela una distribución de los desempeños de los estudiantes, que como resultados ilustra que un 71% dominó la actividad con éxito, sin embargo, hay una porción del 29% con calificaciones por debajo del promedio estipulado, lo cual resalta aspectos potenciales para mejorar con respecto al mecanismo de acción de una sustancia psicoactiva, aun si cuando la mayoría de estudiante aprobaron el cuestionario.

8.2.3.3. Bioinformática

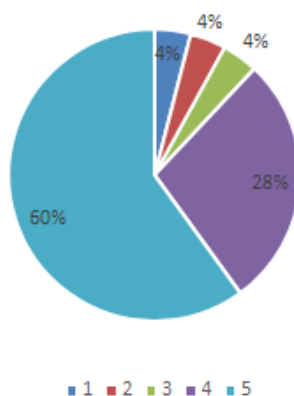
A partir de las actividades descritas en la **Tabla 13**, se realizó un análisis de cada una de las preguntas asociadas, las cuales recibieron una nota cuantitativa final de 1 a 5. El manejo de los programas o softwares se evaluó siguiendo criterios específicos, que permitieron asignar una calificación. Por otro lado, las preguntas que requerían justificaciones detalladas de las acciones realizadas en cada actividad fueron analizadas según categorías predefinidas, a las cuales también se le asignó una nota dependiendo si la respuesta era excelente, buena, regular o no apropiada.

Teniendo en cuenta lo anterior, se presentan los resultados de la actividad denominada PDB: Búsqueda de proteínas (**Anexo 7**), esta actividad está dividida en dos preguntas, las cuales

fueron evaluadas según los siguientes criterios de evaluación (**Anexo 24**). A continuación, se procede a realizar el análisis de los resultados obtenidos por los estudiantes (**Figura 26**).

Figura 26

Gráfica de torta actividad PDB



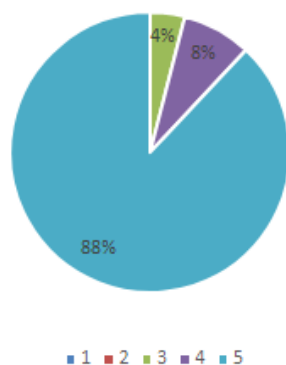
Fuente: Elaboración propia

El análisis de los resultados de la actividad PDB muestra una distribución de calificaciones que sugiere un alto nivel de desempeño de los estudiantes. Este patrón de resultados sugiere que un 92% dominó la actividad con éxito, lo que muestra una sólida comprensión de los conceptos. A su vez, hay una porción del 4% con calificaciones por debajo del promedio, lo cual resalta aspectos para mejorar y señala diferencias en la búsqueda y selección de la proteína en la base de datos.

La actividad respecto al uso de la base de datos PubChem y el software Avogadro para la búsqueda y optimización de ligandos (**Anexo 8**), está dividida en dos preguntas respecto al manejo de los programas, las cuales fueron evaluadas teniendo en cuenta dos criterios de evaluación (**Anexo 25**). En consecuencia, se obtuvieron los resultados evidenciados en la **Figura 27**.

Figura 27

Gráfica de torta actividad PubChem y Avogadro



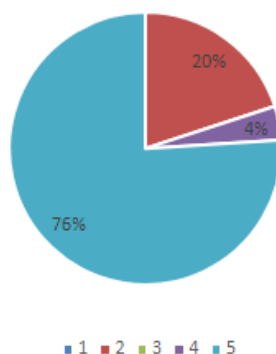
Fuente: Elaboración propia

Los resultados de las actividades PubChem y Avogadro, basado en una escala de calificación de 1 a 5, revelan un desempeño notablemente positivo entre los estudiantes. Dado que las calificaciones de 3, 4 y 5 son consideradas aprobatorias, el 100% de los participantes aprobaron con éxito la actividad, lo que indica un alto nivel de competencia en el uso de estas herramientas bioinformáticas. La amplia mayoría que obtuvo un 5 sugiere una comprensión y ejecución sobresalientes de la actividad, mientras que el 8% con una calificación de 4 también demuestra un desempeño sólido, aunque con aspectos de mejora como seguir las instrucciones de la actividad. Esto destaca la eficacia general de la actividad en términos de preparación y evaluación.

Siguiendo con el análisis de los resultados de la actividad de Chimera: Limpieza de la proteína (**Anexo 9**), la cual constó de tres preguntas, las cuales fueron evaluadas teniendo en cuenta tres criterios de evaluación (**Anexo 26**). En la **Figura 28**, se muestran los resultados obtenidos por los estudiantes.

Figura 28

Gráfica de torta actividad Chimera



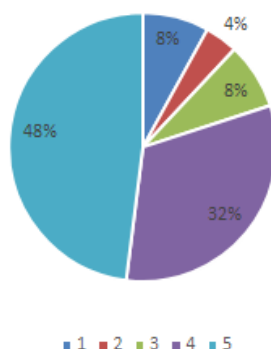
Fuente: Elaboración propia

Según los datos, el 80% de los estudiantes aprobó la actividad, lo que indica un rendimiento positivo en general. El 76% que obtuvo la calificación de 5 demuestra un dominio sobresaliente de los conceptos evaluados, mientras que el 4% que alcanzó un 4 también muestra un buen desempeño con algunos aspectos que podrían ser mejorados. Sin embargo, el 20% de los participantes que recibió una calificación de 2 no logró aprobar la actividad, lo que sugiere que hay un grupo significativo con dificultades considerables en el uso del software para la eliminación de moléculas de H₂O y dejar limpia la proteína.

Continuando con las actividades, se encuentra la actividad de PyRx para realizar el docking molecular, la cual contó con 4 preguntas (**Anexo 10**). Esta actividad fue evaluada teniendo en cuenta 4 criterios de evaluación observados en el **Anexo 27**. De acuerdo con lo anterior, se presentan los resultados obtenidos por los estudiantes en la actividad (**Figura 29**).

Figura 29

Gráfica de torta actividad PyRx



Fuente: Elaboración propia

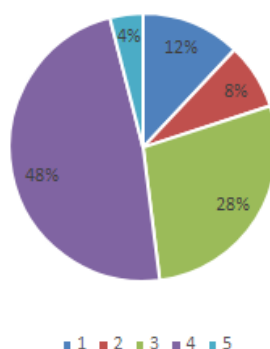
A partir de estos resultados, se puede observar que un total del 88% de los participantes aprobó la actividad. Este alto porcentaje de aprobación indica que la mayoría de los estudiantes ha logrado una comprensión adecuada de la actividad. En particular, el 48% de los participantes que obtuvo una calificación de 5 demuestra un excelente dominio de la herramienta bioinformática PyRx, mientras que el 32% con una calificación de 4 también muestra un desempeño sólido, aunque con margen para mejorar.

No obstante, el 12% de los participantes que recibió calificaciones de 1 o 2 no aprobó la actividad, lo que sugiere que existe un grupo significativo con dificultades considerables en el manejo de la herramienta y la comprensión de los resultados, en cuanto al análisis de las energías de afinidad de las diferentes conformaciones entre ligando-proteína.

Finalmente, la actividad de DruLiTo para identificar el potencial farmacológico de la sustancia psicoactiva (**Anexo 11**), constó de cuatro preguntas con sus criterios de evaluación respectivos (**Anexo 28**). En consecuencia, se obtuvieron los resultados evidenciados en la **Figura 30**.

Figura 30

Gráfica de torta actividad DruLiTo



Fuente: Elaboración propia

Se infiere de estos resultados que el 80% de los participantes aprobó la actividad, indicando un nivel de desempeño alto. Dentro de este grupo, el 48% que obtuvo un 4 y el 4% con una calificación de 5 demuestran un buen nivel de comprensión de la actividad, con un 4% que alcanzó un rendimiento sobresaliente. Sin embargo, el 20% de los participantes que obtuvo calificaciones de 1 o 2 no logró aprobar la actividad, lo que indica que un grupo significativo enfrentó dificultades importantes en cuanto a la comprensión de la regla de Lipinski y su

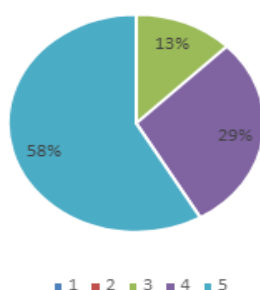
relación con el paso de la barrera hematoencefálica. Asimismo, como entender el mecanismo de acción de la sustancia psicoactiva analizada.

8.2.3.4. Cromatografía

A partir de las cuatro actividades descritas en la **Tabla 14**, se realizó un análisis de cada una de las preguntas asociadas en cada actividad, las cuales recibieron una nota cuantitativa final de 1 a 5, lo cual representa si cumplió los objetivos de las actividades. En primer lugar, la actividad conceptos básicos de cromatografía, se caracteriza por tener únicamente preguntas cerradas, ya que se trataba de relacionar columnas. A continuación, se procede a realizar el análisis de los resultados obtenidos por los estudiantes por medio de una gráfica (**Figura 31**).

Figura 31

Gráfica de torta actividad conceptos básicos de cromatografía de gases



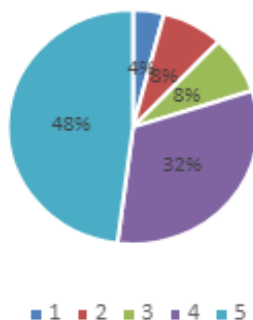
Fuente: Elaboración propia

Según con lo observado anteriormente, se identifica que el 100% de las respuestas de los estudiantes se encuentran dentro de una calificación aprobatoria, lo que justifica detalladamente que los recursos disponibles en el módulo contribuyeron positiva y efectivamente en la construcción autónoma de conceptos básicos acerca de la cromatografía.

En seguida en la actividad interactiva acerca de las partes del cromatógrafo en el MOOC, se observan los resultados obtenidos en la **Figura 32**.

Figura 32

Gráfica de torta actividad partes del cromatógrafo



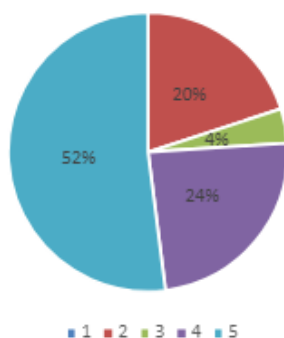
Fuente: Elaboración propia

Sobre la base del gráfico de la **Figura 32**, se constata que el 88% de los estudiantes logran identificar las partes de un cromatógrafo y su correspondiente función. No obstante, se especula que el 12% no tuvo un rendimiento sobresaliente en el objetivo de la actividad, ya que, tal vez no siguieron la ruta de aprendizaje adecuadamente, es decir, no revisaron o interpretaron las lecturas y los videos interactivos asociadas al reconocimiento de las partes de un cromatógrafo.

En seguida está la **Figura 33**, que contiene los resultados cuantitativos de la actividad interactiva acerca de cómo seleccionar una columna cromatográfica.

Figura 33

Gráfica de torta actividad selección de una columna cromatográfica.



Fuente: Elaboración propia

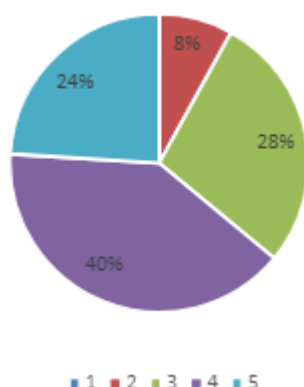
En ella se observa que el 80% de estudiantes aprobaron con éxito la actividad, es decir, lograron identificar la importancia de comprender cuales son los conceptos básicos para la selección de una columna cromatográfica. Si bien, por otro parte se evidencia una falencia en

el 20% de los estudiantes que puede estar relacionado a la interpretación de cuál es el uso de una columna y qué implicación tiene su selección con la muestra que se va analizar.

Finalmente, para la interpretación de las respuestas sobre los tipos de detectores, es importante mencionar que la actividad tiene cuatro preguntas cerradas y dos preguntas del tipo abiertas, las cuales fueron calificadas bajo unas categorías previamente estructuradas (**Anexo 29**). En proporción a lo anterior, a través de la **Figura 34** se analizará los resultados que los estudiantes obtuvieron en este cuestionario.

Figura 34

Gráfica de torta actividad tipos detectores



Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la actividad fueron evaluados en una escala de 1 a 5, donde muestra una distribución de calificaciones de acuerdo con el desempeño de los participantes. Según los datos, el 92% de los participantes logró aprobar la actividad, esto indica más la mayoría lograron aprender autónomamente como cuales son los tipos de detectores y su respectiva función. No obstante, el 8% no logró cumplir los objetivos de aprendizaje de esta actividad, por lo que se considera que tal vez se les dificulta asociar los tipos de detectores a un contexto en específico, ya que, todas las preguntas fueron formuladas para identificar qué detector se usa en una situación en específico.

8.3. Análisis de la efectividad del MOOC

La efectividad del MOOC se realizó por medio del análisis comparativo entre la prueba diagnóstica y la prueba final. En las actividades intermedias se determinó la correlación que hubo, con el fin de identificar el progreso de los estudiantes y la asociación entre los conceptos. Las preguntas abiertas se analizaron por atlas.Ti y las preguntas cerradas por el software SPSS.

8.3.1. Análisis prueba final

La actividad final tiene tres secciones que abarcan cromatografía, bioinformática y conclusión. En la sección de cromatografía de gases se pretende que el estudiante mediante los cromatogramas y los conceptos aprendidos previamente logre identificar cuál fue la sustancia psicoactiva que mató a Mr. Khat y, que además a través de un argumento explique cómo identificó la sustancia psicoactiva.

La sección de bioinformática tiene el objetivo de que el estudiante articule la cromatografía con la bioinformática, asimismo, realizar todo el docking molecular, es decir que una vez identificada la SPA por la técnica de cromatografía de gases, a través de los software informáticos como PDB, Chimera, Pubchem, Avogadro, PyRx y Drulito el estudiante debe buscar la proteína de mejor calidad, realizar la limpieza de la proteína, descargar los ligandos y optimizarlos, interpretar si la SPA atraviesa o no la barrera hematoencefálica (BHE), para finalmente, hacer el docking molecular de la proteína con los ligandos y, la proteína con la SPA. Este ejercicio le permite conocer cómo es la afinidad de los ligandos y la SPA versus la proteína, con el fin de identificar el sitio activo de unión, mejores conformaciones, energías más estables y orden de unión.

El apartado de la conclusión va en función de que el estudiante articule los conocimientos contruidos a lo largo de cada módulo del MOOC, para emitir de forma crítica y argumentativa como Mr. Khat murió por una sobredosis de sustancias psicoactivas. Esto implica proponer un mecanismo de acción en el sistema nervioso central y entender los efectos estimulantes que tienen estas sustancias.

De acuerdo con lo anterior, la actividad final tuvo 2 preguntas cuantitativas y 3 cualitativas, para las cuantitativas se establecieron los siguientes criterios de evaluación, los cuales se les

dio una escala numérica, cada pregunta vale 1 y cada criterio tiene su respectivo valor (**Tabla 17 y 18**).

Tabla 17

Criterios de evaluación Pregunta 1

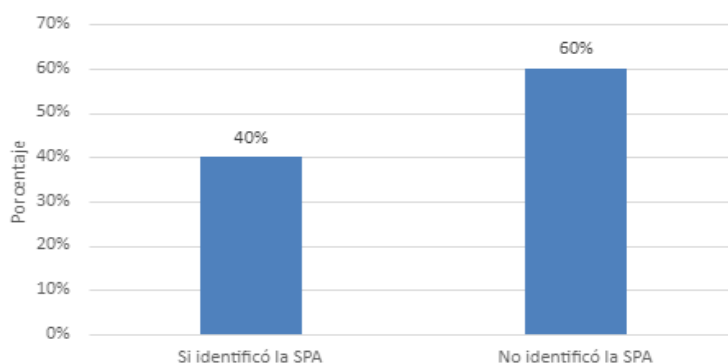
Criterios de evaluación I. Cromatogramas	Valor de cada criterio
1. Relaciona los tiempos de retención de la muestra problema y el MIX para identificar la sustancia psicoactiva que mató Mr..Khat.	0,5
2. Seleccionó la Metilona como la sustancia psicoactiva que mató a Mr.Khat.	0,5
Total	1

Fuente: Elaboración propia

Conforme a los criterios de evaluación se obtuvieron los siguientes resultados de los 25 estudiantes.

Figura 35

Diagrama de barras preguntas 1



Fuente: Elaboración propia

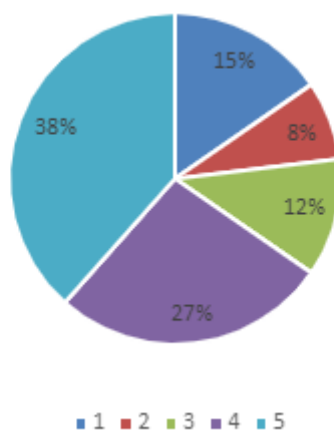
Conforme al diagrama de barras se establece que el 60% de los estudiantes no lograron identificar la SPA y el 40% si logró identificarla. Aquellos estudiantes que no lograron identificar la sustancia psicoactiva por medio de los cromatogramas posiblemente no interpretan ni identifican el tiempo de retención de la muestra desconocida, es decir que falta profundizar en cómo se debe analizar un cromatograma, que es el tiempo de retención y para qué sirve un cromatograma con un mix de sustancias de referencia.

Tabla 18*Criterios de evaluación Pregunta 2*

Criterios de evaluación II. Bioinformática	Valor de cada criterio
1. Realizó búsqueda en PDB (proteína de mejor calidad)	0,2
2. Realizó bioinformática Chimera	0,2
3. Realizó búsqueda en PubChem y Avogadro	0,2
4. Realizó Bioinformática en PyRx	0,2
5. Realizó Bioinformática en Drulito	0,2
Total	1

Fuente: Elaboración propia

Con base en los criterios de evaluación se obtuvo el siguiente diagrama de tortas para la pregunta 2 de las respuestas de los 25 estudiantes.

Figura 36*Diagrama de tortas preguntas 2***Fuente:** Elaboración propia

La pregunta 2 estuvo dividida en 5 aspectos, puesto que es el paso a paso que debe seguir un estudiante para realizar el docking molecular completo, entre la sustancia identificada previamente del cromatograma y los neurotransmisores con la proteína. En este sentido, el 38% de los estudiantes cumplieron con todos los criterios y realizaron correctamente el docking molecular. El 27% no tuvo en cuenta 1 criterio, el 12% omitió 2 criterios, el 8% no realizó 3 criterios y el 15% solo tuvo en cuenta 1 criterio. Posiblemente aquellos estudiantes que omitieron pasos durante el docking molecular lo realizaron, pero no lo evidenciaron. También se puede dar el caso que el estudiante descargó la sustancia psicoactiva que no era o los neurotransmisores incorrectos.

Siguiendo lo que se ha dicho previamente, se analizó por Atlas.Ti las preguntas abiertas de cada sección de la prueba final, las cuales se pueden ver en la **(Tabla 19)**.

Tabla 19

Preguntas abiertas de la prueba final

No	Pregunta
3	Usted debe argumentar si la sustancia identificada en el cromatograma se une más fuerte a la proteína en comparación con los neurotransmisores.
4	Usted debe argumentar porque la sustancia psicoactiva atraviesa o no la BHE.
5	De acuerdo con lo aprendido en los módulos de bioinformática y cromatografía usted debe plantear un texto argumentativo donde explique ¿cómo logró identificar la sustancia que mató a Mr. Khat? y una vez es inhalada la sustancia proponga el mecanismo de acción en el sistema nervioso central, lo cual le permite concluir cómo la sobredosis, por sustancias psicoactivas sintéticas, lo llevó a la muerte.

Fuente: Elaboración Propia

Conforme a las preguntas de la **Tabla 19**, se establecieron los criterios de evaluación para cada sección, con el fin de categorizar las respuestas se establecen las siguientes categorías: donde el no apropiado corresponde a un 0,4, el regular a 0,6, el bueno a 0,8 y el excelente a 1. Para argumentar si la sustancia identificada en el cromatograma se une más fuerte a la proteína en comparación con los neurotransmisores se establecen los siguientes criterios de evaluación **(Tabla 20)**.

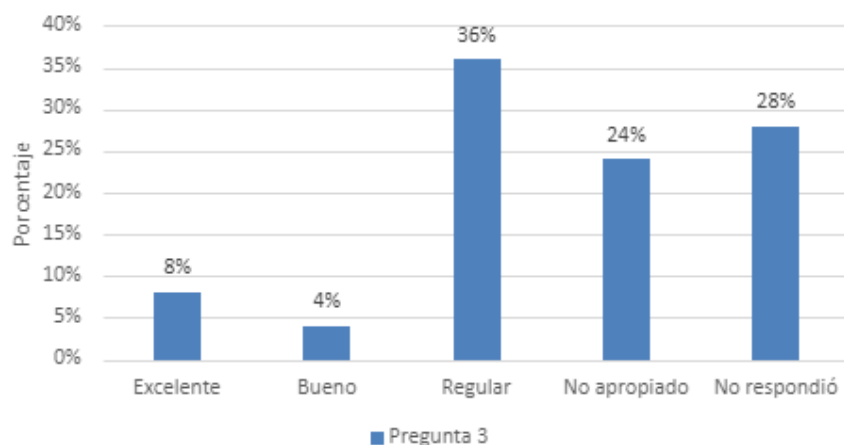
Tabla 20*Criterios de evaluación pregunta 3*

Categoría	Criterios
No apropiado	● Menciona los valores de energía de afinidad para cada unión proteína (calidad baja)-ligando. ● No justifica la estabilidad de esa mejor conformación. ● Menciona el orden de unión del ligando al sitio activo de la proteína, pero no de la manera correcta.
Regular	● Menciona los valores de energía de afinidad para cada unión proteína (calidad media)-ligando. ● Justifica la estabilidad de esa mejor conformación. ● Menciona el orden de unión del ligando al sitio activo de la proteína de manera correcta.
Bueno	● Menciona los valores de energía de afinidad para cada unión proteína (calidad buena)-ligando. ● Justifica la estabilidad de esa mejor conformación. ● Menciona el orden de unión del ligando al sitio activo de la proteína con errores mínimos.
Excelente	● Menciona los valores de energía de afinidad para cada unión proteína (calidad buena)-ligando. ● Justifica la estabilidad de esa mejor conformación. ● Menciona el orden de unión del ligando al sitio activo de la proteína, en donde la serotonina se une más fuertemente la proteína, después la norepinefrina y metilona compiten por el sitio activo y por último se une la dopamina.

Fuente: Elaboración Propia

Conforme a lo anterior, una vez evaluada la pregunta tres, se evidencio que según la **Figura 37** el 52% de las respuestas están clasificadas entre no respondió y no apropiado, mientras que el 48% son regulares, buenas y excelentes. El mayor porcentaje, indica que no se logró justificar de manera correcta la estabilidad de las conformaciones entre ligando y proteína, debido a la falta de interpretación de los valores de afinidad arrojados por el software.

Figura 37*Diagrama de barras pregunta 3*

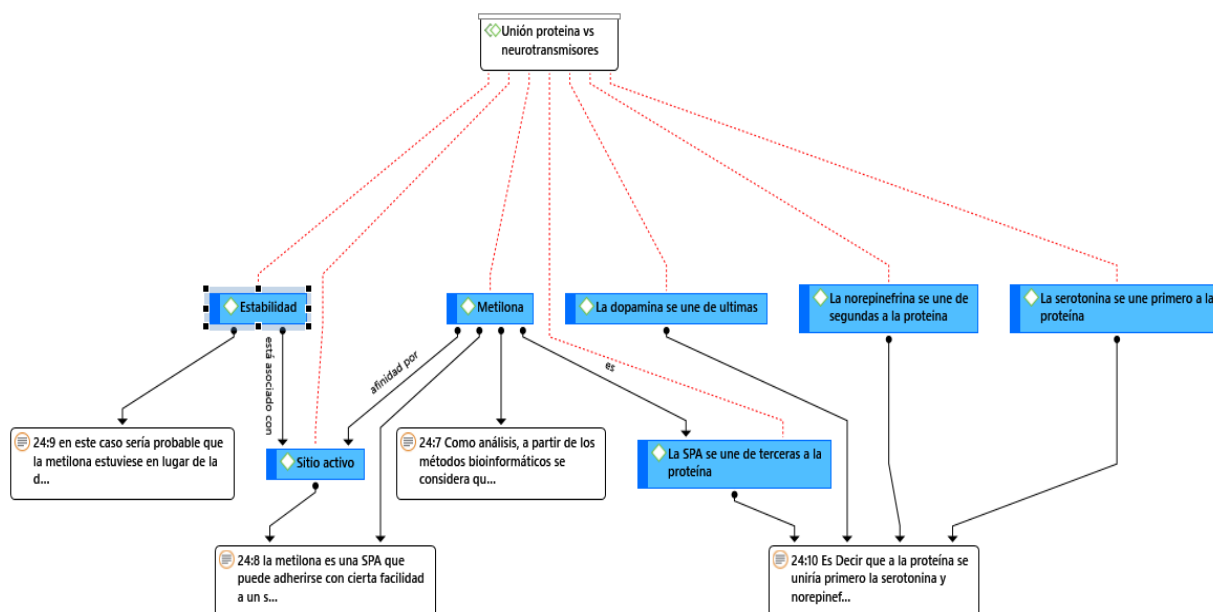


Fuente: Elaboración Propia

Para analizar las estructuras cognitivas de los estudiantes, se ejemplifica una red conceptual realizada en Atlas.Ti de una respuesta excelente y una no apropiada, como se puede observar en la red semántica de una respuesta excelente (**Figura 38**), dado que el estudiante 25 dijo *“Como análisis, a partir de los métodos bioinformáticos se considera que la metilona es una SPA que puede adherirse con cierta facilidad a un sitio activo de la proteína en lugar de un neurotransmisor, en este caso sería probable que la metilona estuviese en lugar de la dopamina debido a su valor energético de -6,0 y 5,7 respectivamente que responde al carácter de estabilidad para unirse a la proteína. Es decir, que a la proteína se uniría primero la serotonina y norepinefrina, luego la metilona y por último la dopamina”*. Respuesta tomada de estudiante 25 prueba final.

Figura 38

Red semántica estudiante 25 con categorización de respuesta Excelente



Fuente: Elaboración propia en Atlas Ti

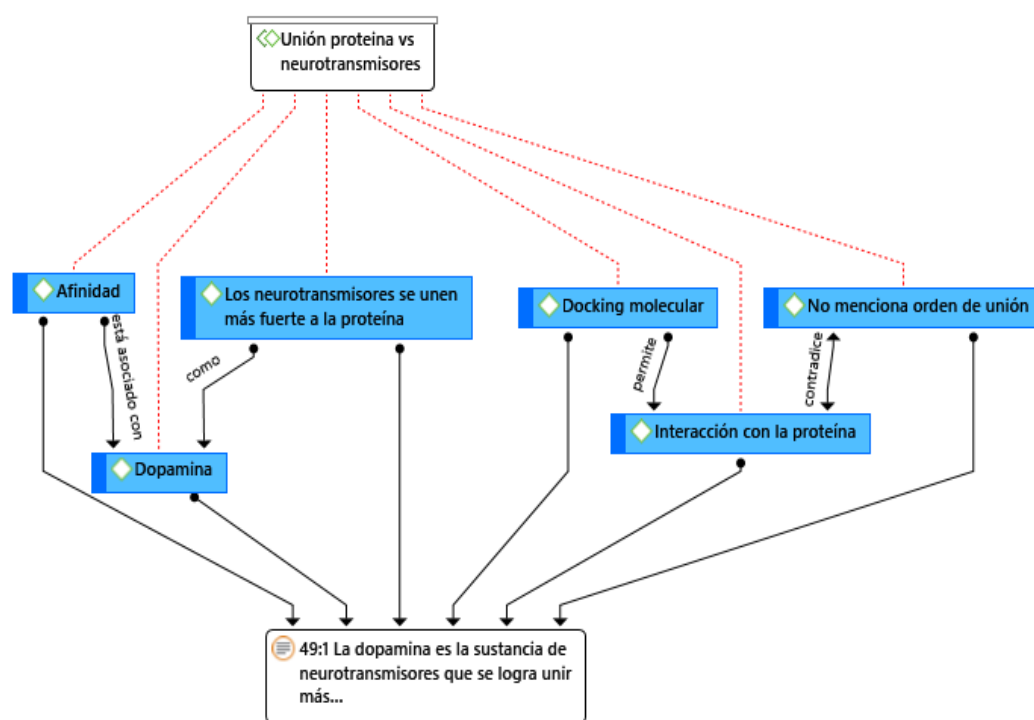
Con base en la red semántica del estudiante 25, la respuesta fue categorizada como excelente ya que, el estudiante interpreta de manera correcta los resultados del docking molecular, además menciona las energías de afinidad y reconoce que entre más negativo el valor habrá mayor afinidad y estabilidad por el sitio de la proteína, lo cual le permite establecer el orden de unión entre la proteína con los neurotransmisores y la metilona. En este sentido, cuando una persona consume algún tipo de catinona sintética, el neurotransmisor que primero se une a la proteína es la serotonina, luego la norepinefrina entra a competir con la SPA y de últimas se une la dopamina.

La proteína hace parte de la familia de las proteínas CYP2D6, en este caso ayuda a la metabolización de la SPA. No obstante, como hay un incremento de neurotransmisores, la persona empieza a experimentar los efectos placenteros después del consumo.

Por otro lado, se ejemplifica una respuesta categorizada como no apropiada en la red semántica (**Figura 39**) puesto que, el estudiante 12 mencionó “La dopamina es la sustancia de neurotransmisores que se logra unir más fuerte a la proteína, a comparación de la SPA, aunque mirando los datos del docking también tiene una afinidad de la unión muy alta también para poder unirse con la proteína”. Respuesta tomada de estudiante 12 prueba final.

Figura 39

Red semántica estudiante 12 con categorización de respuesta no apropiada



Fuente: Elaboración propia en Atlas Ti

Respecto a la red semántica del estudiante 12 se puede mencionar que la respuesta fue categorizada como no apropiada a causa de que, no se identificó el orden de unión entre los neurotransmisores y la SPA con la proteína, solo se tuvo en cuenta el neurotransmisor dopamina sin considerar las energías de afinidad de la serotonina y norepinefrina, También, se evidencia que si bien, la SPA se une a la proteína no se aclara si se une o no más fuerte en comparación con los neurotransmisores, lo cual quiere decir que los resultados del docking molecular no fueron interpretados correctamente.

Siguiendo con el análisis del argumento si la sustancia psicoactiva atraviesa o no la barrera hematoencefálica se establecieron los siguientes criterios de evaluación (**Tabla 21**).

Tabla 21

Criterios de evaluación pregunta 4

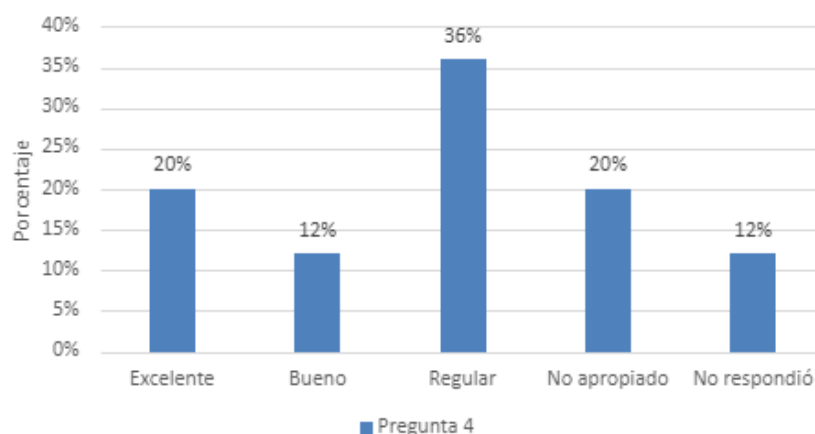
Categoría	criterios
No apropiado	● Establece que la metilona NO logra atravesar la barrera hematoencefálica. ● No explica como es el proceso en que la SPA logra atravesar la barrera hematoencefálica
Regular	● Identifica que la metilona SI logra atravesar la barrera hematoencefálica ● La argumentación presenta errores. ● No hay argumentación en cómo la SPA atraviesa la barrera hematoencefálica.
Bueno	● Identifica que la herramienta bioinformática DruLiTo le permite determinar si la SPA atraviesa o no la BHE. ● Identifica que la metilona SI logra atravesar la barrera hematoencefálica ● Explica de manera básica como la SPA atraviesa la barrera hematoencefálica.
Excelente	● Establece que es la barrera hematoencefálica y cuál es su función. ● Identifica que la herramienta bioinformática DruLiTo le permite determinar si la SPA atraviesa o no la BHE. ● Analiza los datos emitidos por el software como peso molecular, LogP, HBA y HBD. ● Identifica que la metilona SI logra atravesar la barrera hematoencefálica. ● Explica detalladamente porque la SPA logró atravesar la barrera hematoencefálica.

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con lo anterior, una vez evaluada la pregunta cuatro, se evidencio según la **Figura 40** que el 32% de las respuestas están clasificadas como no apropiadas y no respondió, mientras que en el 68% se encuentran regulares, buenas y excelentes, es decir, que la mayoría de los estudiantes lograron argumentar porque la sustancia psicoactiva atraviesa o no la barrera hematoencefálica del cerebro. Por otro lado, en el 32% se evidencia una dificultad en la comprensión de la regla de Lipinski y su implicación en el paso de la barrera hematoencefálica.

Figura 40

Diagrama de barras pregunta 4

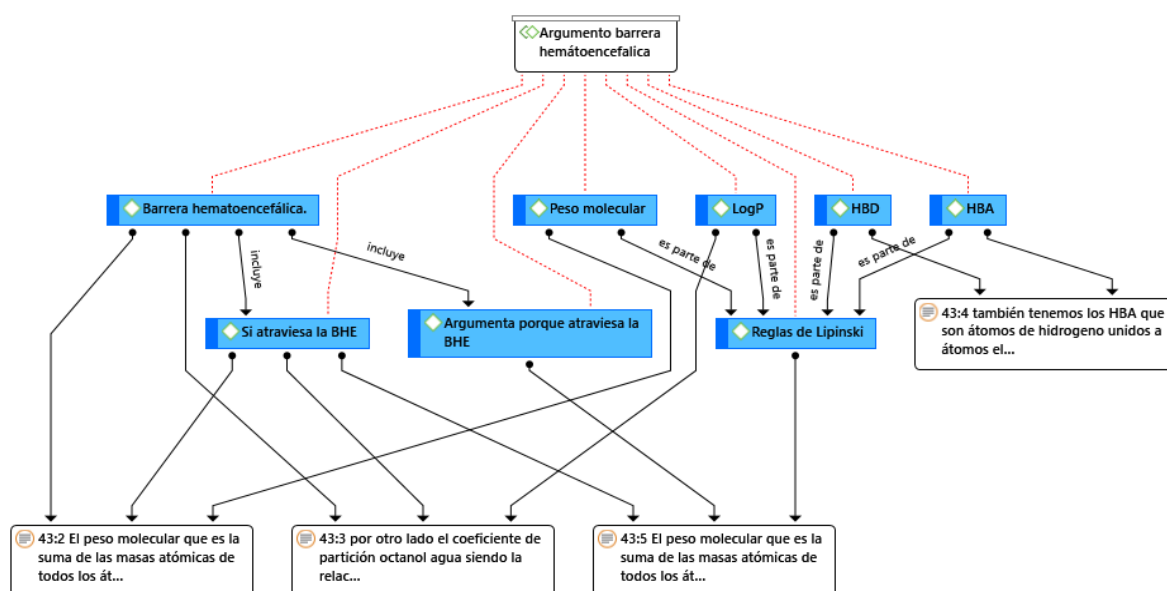


Fuente: Elaboración Propia

En consecuencia, y con el fin de identificar la formación de la estructura cognitiva en los estudiantes, se muestra una red semántica (**Figura 41**) de una respuesta categorizada como excelente, donde el estudiante mencionó “*El peso molecular que es la suma de las masas atómicas de todos los átomos en una molécula, sabiendo que un peso molecular adecuado debe ser igual o menor 500 dalton permitiendo la absorción y permeabilidad celular, y en este caso se cumple con esa regla teniendo un peso 207, 09 no teniendo dificultad en atravesar la membrana celular, por otro lado el coeficiente de partición octanol agua siendo la relación de concentración de una molécula entre una fase lipofílica y otra fase acuosa, nos indica la afinidad por entornos grasos versus acuosos, debe ser igual o menor a 5 y en este caso se cumple la regla teniendo un valor de 0,83 teniendo un buen equilibrio entre solubilidad en agua y capacidad para atravesar membranas lipídicas, también tenemos los HBA que son átomos de hidrogeno unidos a átomos electronegativos como oxigeno o nitrógeno que pueden donar un enlace de hidrogeno, en este caso tenemos 2, y por otro lado los HBD que son átomos electronegativos con pares de electrones libres que pueden aceptar un enlace de hidrogeno, en este caso tenemos 1, según la regla de lipinski nos dice que no debemos tener más de 5 donadores y 10 aceptores de enlaces de hidrogeno, por lo cual las propiedades de la molécula cumple con los criterios establecidos por las reglas de lipinski permitiéndole atravesar la barrera hematoencefálica.*” Respuesta tomada de estudiante 6 prueba final.

Figura 41

Red semántica estudiante 6 con categorización de respuesta excelente



Fuente: Elaboración propia en Atlas Ti

De acuerdo con la red semántica del estudiante 6 la respuesta fue categorizada como excelente ya que, explica a detalle porque la metilona si atraviesa la barrera hematoencefálica. Así no se mencione directamente la metilona el peso molecular de esta sustancia corresponde a 207,09 g/mol. De la misma manera, argumenta por medio de las reglas de Lipinski y mención a que hace referencia cada regla, lo cual quiere decir que los datos arrojados por el software DruLiTo fueron interpretados correctamente. Por otro lado, comprende la afinidad de la SPA por los entornos grasos, permitiendo la permeabilidad por la membrana celular.

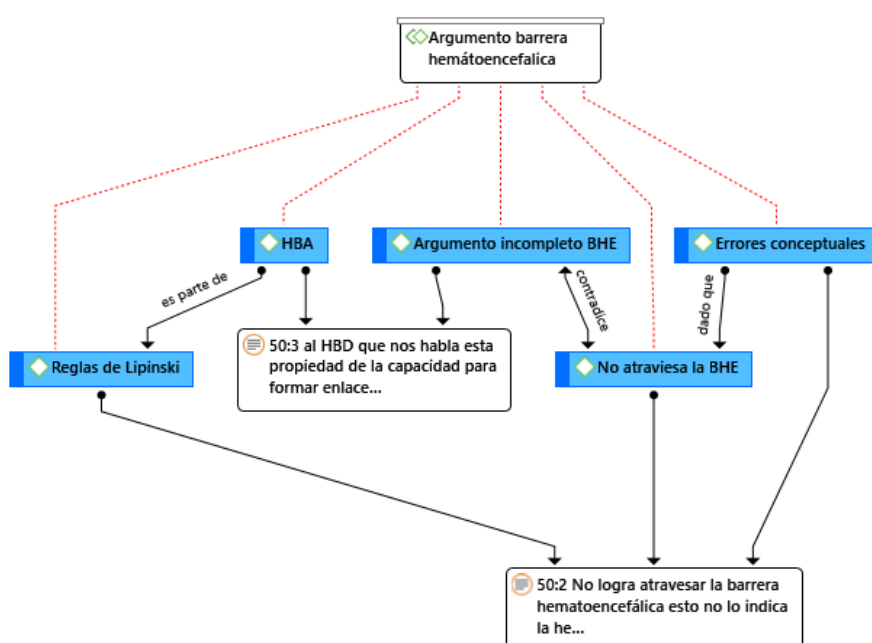
La barrera hematoencefálica está formada por células endoteliales, ubicadas en el cerebro y son las responsables de controlar qué sustancias ingresan y cuáles no del fluido extracelular. En ese sentido, como la SPA si puede atravesar la BHE empiezan los efectos en el sistema nervioso central, como el incremento de los neurotransmisores, la interacción de la proteína CYP2D6 y los estímulos placenteros.

Por otra parte, se evidencia en la red semántica **(Figura 42)** la respuesta categorizada como no apropiada, por lo que el estudiante respondió “No logra atravesar la barrera hematoencefálica esto no lo indica la herramienta computacional DruLiTo 1) debido a que todo sale en verde que es un indicador que cumple con los criterios de Lipinski 2 al HBD que nos habla esta propiedad de la capacidad para formar enlaces de hidrógeno (de aceptar enlaces de

hidrógeno) esto es un indicador si está siendo afectada la permeabilidad y la interacción del fármaco debido a que este no tiene un número mayor a 10 se encuentra dentro de los límites generales que un compuesto tiene es decir tiene un potencial adecuado”. Respuesta tomada del estudiante 13 prueba final.

Figura 42

Red semántica estudiante 13 con categorización de respuesta no apropiada



Fuente: Elaboración propia en Atlas Ti

El estudiante 13 reconoce que la herramienta DruLiTo sirve para determinar si la barrera hematoencefálica cruza o no la membrana celular. Sin embargo, presenta errores conceptuales puesto que, menciona que la SPA no logra atravesar la barrera hematoencefálica ya que, las reglas de Lipinski aparecen en verde, luego explica algunas reglas y destaca la permeabilidad y el potencial de la SPA, algo que contradice su premisa inicial, posiblemente interpretó los datos al contrario y se confundió al aclarar si la sustancia atraviesa o no la barrera hematoencefálica.

Continuando con el análisis de la pregunta 5 respecto a la identificación de la SPA, el mecanismo de acción y una conclusión de cómo una sobredosis por SPA conlleva a la muerte,

se establecieron los siguientes criterios de evaluación (**Tabla 22**). Note que, esta pregunta articula varios conocimientos trabajados en cada módulo del MOOC y además se relacionan con la prueba diagnóstico. Por otro lado, implica que el estudiante de solución de ¿Qué? y ¿Cómo? murió Mr. Khat, en lo cual se evidencia el enfoque pedagógico (ABP).

Tabla 22

Criterios de evaluación pregunta 5

Categoría	Criterios
No apropiado	● A partir de los cromatogramas no identifica la SPA que mató a Mr. khat. ● No tiene en cuenta los tiempos de retención de los cromatogramas. ● El mecanismo de acción <u>propuesto</u> presenta errores.
Regular	● Reconoce que la SPA se identificó gracias a la técnica de separación de cromatografía de gases. ● Compara de manera acertada el tiempo de retención de la muestra problema con el mix de catinonas y emite que Mr. Khat murió por sobredosis de Metilona. ● El mecanismo de acción <u>propuesto</u> presenta errores.
Bueno	● Reconoce que la SPA se identificó gracias a la técnica de separación de cromatografía de gases. ● Compara de manera acertada el tiempo de retención de la muestra problema con el mix de catinonas y emite que Mr. Khat murió por sobredosis de Metilona. ● Explica el mecanismo de acción de forma básica.
Excelente	● Reconoce que la SPA se identificó gracias a la técnica de separación de cromatografía de gases. ● Compara de manera acertada el tiempo de retención de la muestra problema con el mix de catinonas y emite que Mr. Khat murió por sobredosis de Metilona. ● Analiza los datos obtenidos del docking molecular. ● Explica el mecanismo de acción de forma detallada. ● Concluye como una sobredosis por metilona le causó la muerte a Mr. Khat.

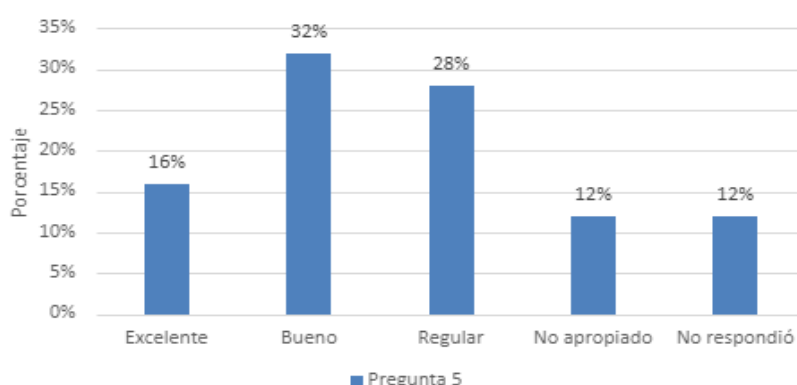
Fuente: Elaboración Propia

Teniendo en cuenta lo anterior, se observa que según el gráfico de la **Figura 43**, el 76% de las respuestas se encuentran clasificadas como regulares, buenas y excelente, lo que demuestra que la mayoría de estudiantes lograron cumplir el objetivo del MOOC, es decir, que identificaron a través de la cromatografía que sustancia psicoactiva mató a Mr.Khat, estableciendo un

mecanismo de acción básico para concluir la causa de muerte, de tal manera que articularon conceptos de cromatografía, bioinformática y sustancias psicoactivas.

Figura 43

Diagrama de barras pregunta 5

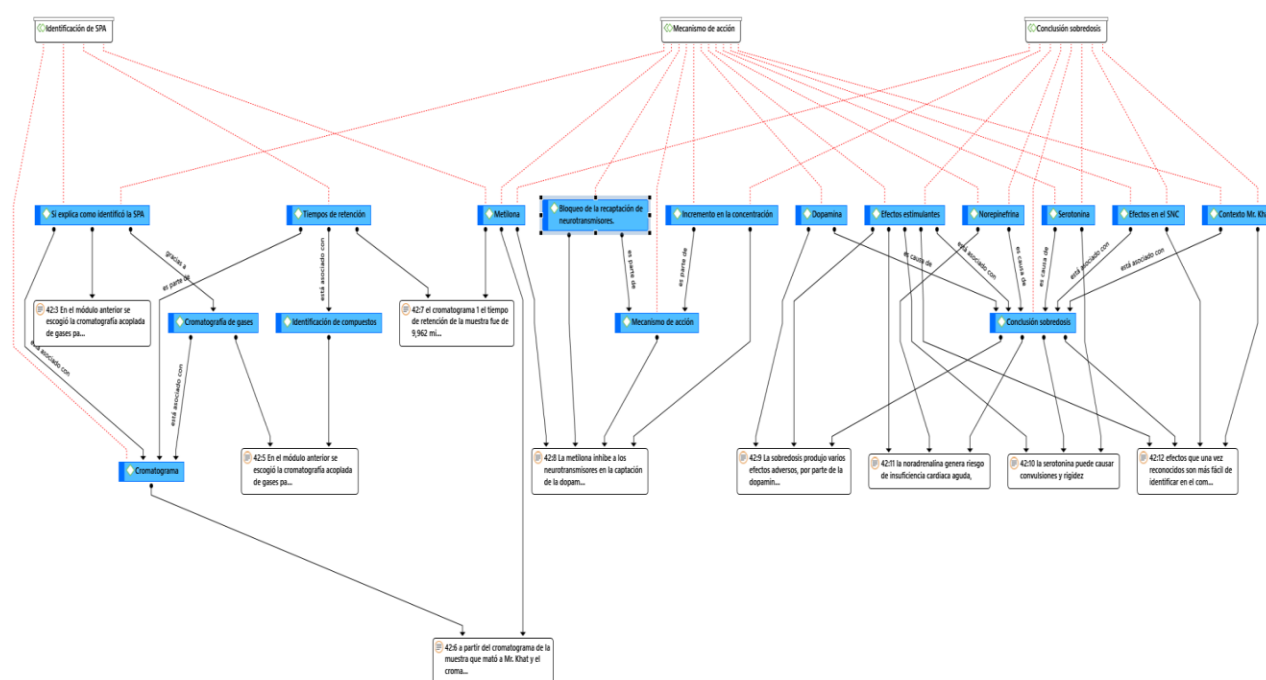


Fuente: Elaboración Propia

Teniendo en cuenta los criterios de evaluación de la pregunta 5 se ejemplifica una respuesta categorizada como buena en la **Figura 44**, donde el estudiante respondió lo siguiente: “En el módulo anterior se escogió la cromatografía acoplada de gases para realizar las pruebas que nos indicarían la sustancia que produjo la muerte de Mr. Khat, a partir del cromatograma de la muestra que mató a Mr. Khat y el cromatograma MIX Catinonas se determina que la sustancia es la Metilona HCl, teniendo en cuenta que en el cromatograma 1 el tiempo de retención de la muestra fue de 9,962 minutos y en el cromatograma 2 indica que la metilona HCl tiene un tiempo de retención de 9.916 minutos y no teniendo otra catinona en este rango de tiempo. La metilona inhibe a los neurotransmisores en la captación de la dopamina, serotonina y norepinefrina generando exceso de estos en la barrera sináptica. La sobredosis produjo varios efectos adversos, por parte de la dopamina se genera hiperactividad que genera arritmias cardíacas, la serotonina puede causar convulsiones y rigidez y por último la noradrenalina genera riesgo de insuficiencia cardíaca aguda, efectos que una vez reconocidos son más fácil de identificar en el comic inicial de este MOOC, donde todos estos efectos juntos pudieron causar en Mr Khat falla cardiovascular y fallo multiorgánico por la metilona HCl”. Respuesta toma de estudiante 5 prueba final.

Figura 44

Red semántica estudiante 5 con categorización de respuesta buena



Fuente: Elaboración propia en Atlas Ti

Con base en la respuesta y la red semántica del estudiante 5, se establece que es una respuesta buena, porque se interpreta que la metilona fue identificada por la técnica de cromatografía de gases de acuerdo con los cromatogramas, los cuales fueron comparados respecto al tiempo de retención del mix de catinonas y la muestra problema. El estudiante pudo construir estos conocimientos por los conceptos trabajados en el módulo de cromatografía del MOOC.

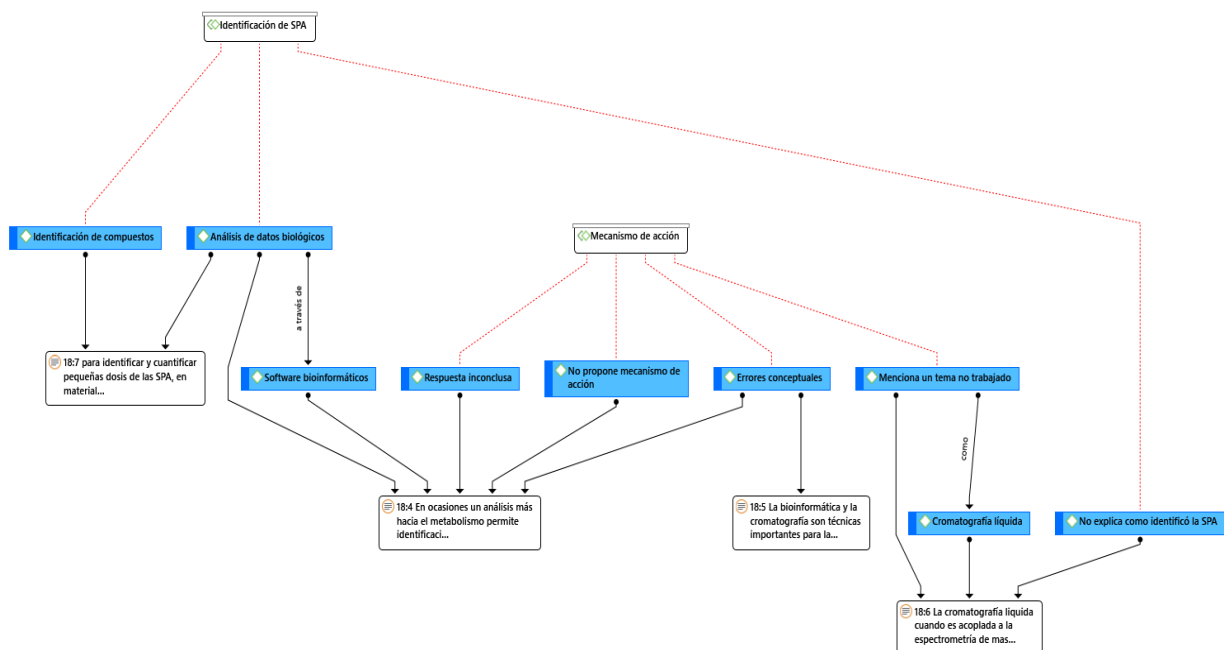
Continuando con los aspectos que necesita esta pregunta, el estudiante tiene una aproximación al mecanismo de acción, pues hay una inhibición en la recaptación de los neurotransmisores, es decir que estos se acumulan en el espacio sináptico que hay entre las neuronas, lo cual inhibe la función en que puedan ingresar nuevamente a la célula, esto se debe principalmente porque la SPA inhibe la monoaminoxidasa, la cual es una enzima encargada de la metabolización de los neurotransmisores, por ello la acumulación de los mismos. Por otra parte, si bien como lo menciona el estudiante cada exceso de un neurotransmisor produce efectos directamente sobre el sistema nervioso central como, arritmias cardíacas, convulsiones, insuficiencia cardíaca,

entre otros. Síntomas que pueden ocasionar la muerte, debido a que Mr Khat consumió la metilona en exceso y su cuerpo no tuvo tolerancia a la metabolización.

En otro sentido, se ejemplifica una respuesta categorizada como no apropiada como se puede observar en la **(Figura 45)**, donde el estudiante dijo *“La bioinformática y la cromatografía son técnicas importantes para la detección de sustancias psicoactivas; La cromatografía líquida cuando es acoplada a la espectrometría de masas, se emplea para identificar y cuantificar pequeñas dosis de las SPA, en material biológico, los principios teóricos de la cromatografía líquida en la instrumentalización optimiza la detección de sustancias psicoactivas y está mezclada con la bioinformática hacer que se genera patrones de búsqueda. En ocasiones un análisis más hacia el metabolismo permite identificación de biomarcadores cuando son expuestos a sustancias psicoactivas, cuando la se hizo la bioinformática logró identificar parámetros que se pudieron detectar por cromatografía, lo cual genera que estas herramientas son muy utilizadas y efectivas cuando sea analice analitos biológicos contaminados”*. Respuesta toma de estudiante 19 prueba final.

Figura 45

Red semántica estudiante 19 con categorización de respuesta no apropiada



Fuente: Elaboración propia en Atlas Ti

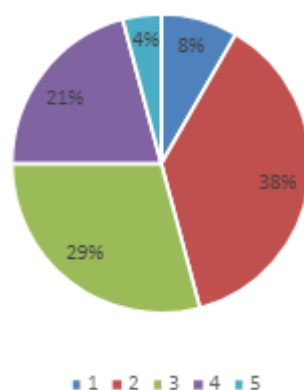
Respecto a la respuesta del estudiante 19 y la red semántica, se refleja que es una respuesta no apropiada en vista de que, se menciona un tema no trabajado como lo es la cromatografía líquida, hay errores conceptuales al afirmar que la cromatografía y la bioinformática son técnicas de identificación, si bien, la cromatografía identifica y separa, la bioinformática no identifica, por el contrario analiza datos biológicos, es decir que el estudiante no responde la pregunta y aun después de haber realizado todas las actividades del MOOC no hace distinción entre la cromatografía y la bioinformática asimismo, no las relaciona. A partir del docking molecular y de las actividades de bioinformática el estudiante no propone un mecanismo de acción cuando se consume la SPA, tampoco aclara el interrogante que da inicio al curso de qué sustancia consumió Mr Khat y como eso lo conllevó a la muerte.

Posiblemente, el estudiante realizó las actividades sin tener un conocimiento construido y articulado con otros conceptos, quizás tuvo un alto nivel de dificultad en la comprensión de los contenidos, debido a que se requiere conocimientos previos en química analítica y bioquímica, o también su manera de aprender no se ajusta con un MOOC, si no por el contrario necesita práctica y manejo de los recursos.

Teniendo en cuenta los análisis de las preguntas abiertas y cerradas, en la **Figura 46** se muestran los resultados obtenidos en la actividad final.

Figura 46

Gráfica de torta actividad final



Fuente: Elaboración propia

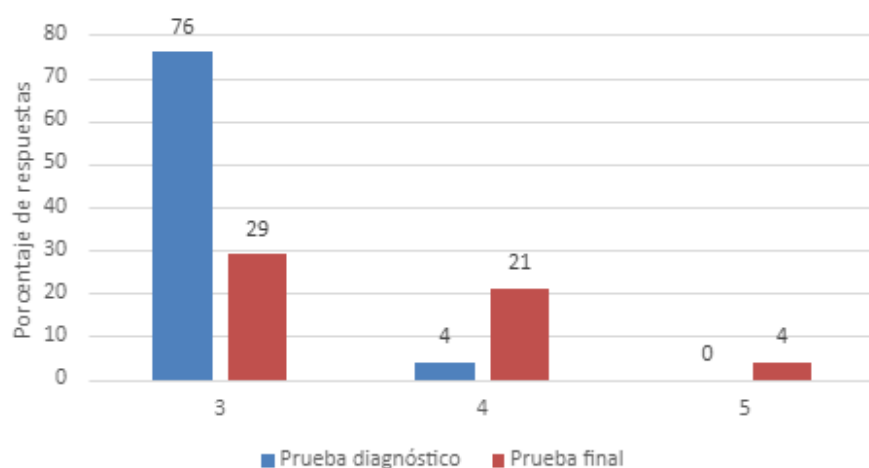
Los resultados de la actividad final, evaluada en una escala de 1 a 5, muestra una distribución de calificaciones con una amplia variabilidad en el desempeño de los 25 participantes. Según los datos, el 54% de los participantes logró aprobar la actividad, esto indica que más de la mitad de los estudiantes comprendieron y aplicaron los conceptos desarrollados en el curso.

Sin embargo, es significativo que el 38% de los participantes recibió una calificación de 2, lo que sugiere que una proporción considerable tuvo dificultades importantes en la argumentación de los resultados. Lo anterior, sucede con el 8% que obtuvo una valoración de 1, el cual refleja un desempeño extremadamente bajo, lo cual se debe a que no desarrollaron cada pregunta establecida de manera apropiada y por lo tanto, la falta de comprensión de conceptos relacionados con sustancias psicoactivas, bioinformática y cromatografía de gases, no les permitió culminar adecuadamente con la actividad.

Para hacer un análisis de la efectividad del MOOC, se realizó un diagrama de barras para identificar el progreso en la calidad de las respuestas entre la prueba diagnóstico y la actividad final. A continuación, en la **Figura 47**, se evidencia el progreso de las respuestas en función de la calificación obtenida.

Figura 47

Progreso de respuestas



Fuente: Elaboración propia

Acorde al diagrama anterior, se identificó que hubo una disminución hasta el 29% en el número de respuestas con una calificación de tres, un aumento de 21% en respuestas clasificadas en cuatro y un aumento de 4% de respuestas con una calificación de cinco. Lo anterior, justifica que los estudiantes a través del desarrollo del MOOC, tuvieron una ruta de aprendizaje efectiva que garantizó un aprendizaje autónomo de los conceptos básicos de cromatografía de gases, bioinformática y sustancias psicoactivas con una mejor calificación, Por lo tanto, el MOOC comprueba la hipótesis verdadera, es decir, que el uso de un MOOC es efectivo para el aprendizaje de cromatografía de gases en estudiantes universitarios de carreras afines a la química.

8.3.2. Análisis cuantitativo SPSS

En el análisis estadístico de las actividades realizadas, se presentan los resultados obtenidos a través del software SPSS, el cual ha sido utilizado para evaluar las correlaciones entre los resultados de la prueba diagnóstica, la prueba final y las actividades aplicadas en los módulos de sustancias psicoactivas, bioinformática y cromatografía de gases, con el objetivo de entender cómo el desarrollo de estas actividades (variable independiente) influye en el aprendizaje de la cromatografía de gases (variable dependiente).

Dado que las correlaciones son fundamentales para entender la fuerza y la dirección de las asociaciones entre variables, se utilizaron tanto correlaciones paramétricas como no paramétricas para obtener una visión completa y robusta de los datos. Específicamente, se aplicaron las correlaciones de Pearson, Taub de Kendall y Rho de Spearman para evaluar estas relaciones.

Las correlaciones paramétricas asumen que los datos provienen de una distribución de probabilidad conocida (como la normal) y que los parámetros establecidos son constantes. Por otro lado, las no paramétricas no siguen la linealidad de la distribución conocida, es decir, que el cálculo basado en la muestra puede no representar de manera exacta los parámetros (Quispe et al., 2019).

Según Lizama y Boccardo (2014), los valores del coeficiente de correlación para cada prueba oscilan entre -1 y 1, donde los extremos indican una correlación muy fuerte entre las variables. Un valor de 0 señala la ausencia de correlación. El signo del coeficiente revela la dirección de la relación: positiva indica una correlación directa, mientras que negativa sugiere una relación inversa. Es importante destacar que la correlación, ya sea positiva o negativa, no implica causalidad o dependencia entre las variables.

Para interpretar los resultados, se considera la magnitud del coeficiente: valores entre 0 y 0,2 indican una correlación muy baja; entre 0,2 y 0,4, una correlación baja; entre 0,4 y 0,6, una correlación moderada; entre 0,6 y 0,8, una correlación alta; y entre 0,8 y 1, una correlación muy alta. Esta misma interpretación aplica a los valores negativos.

En consecuencia, para determinar si los resultados son estadísticamente significativos se utilizan asteriscos, los cuales indican la confianza que representa una relación entre variables y no simplemente un resultado aleatorio. Un asterisco señala que la correlación es significativa al nivel de 0,05, es decir, hay un 5% de probabilidad de error. Por otra parte, dos asteriscos en el coeficiente indican que la correlación es significativa al nivel de 0,01. Esto significa que hay solo un 1% de probabilidad de error.

8.3.1.1. Correlación paramétrica y no paramétrica prueba diagnóstica con la prueba final

Tabla 23

Correlación paramétrica entre la prueba diagnóstica y la prueba final

Correlación paramétrica		Prueba diagnóstico	Prueba final
Prueba diagnóstico	Correlación de Pearson	1	0,105
Prueba final		0,105	1

Fuente: Elaboración propia en SPSS

En la **Tabla 23**, se ha evaluado la correlación entre los resultados obtenidos en la prueba diagnóstica y la prueba final utilizando el coeficiente de correlación de Pearson. El coeficiente de correlación obtenido es de 0,105, una correlación muy baja y lo cual implica que es poco probable que haya una asociación lineal entre las dos pruebas.

Por consiguiente, los resultados de la prueba diagnóstica no proporcionan una información significativa sobre el desempeño en la prueba final, es decir, que existen otros factores como las actividades intermedias desarrolladas durante el curso, que tienen una mayor influencia sobre la prueba final.

Tabla 24

Correlación no paramétrica entre la prueba diagnóstica y la prueba final

Correlación no paramétrica		Prueba diagnóstico	Prueba final
Prueba diagnóstico	Correlación de Tau_b de Kendall	1,000	-0,021
Prueba final		-0,021	1,000
Prueba diagnóstico	Correlación de Rho de Spearman	1,000	0,008
Prueba final		0,008	1,000

Fuente: Elaboración propia en SPSS

Los valores de -0,021 y 0,008 sugieren que la correlación entre ambas pruebas es muy baja y, por lo tanto, no significativa. La correlación negativa, aunque mínima, indica una ligera tendencia a que cuando una variable aumenta, la otra tiende a disminuir. Sin embargo, dado que la magnitud de esta correlación es extremadamente pequeña, su impacto es prácticamente nulo. Por lo tanto, no existe una correlación lineal significativa entre las dos pruebas. Esta falta de correlación lineal puede implicar que el progreso a lo largo del MOOC no está reflejado en la relación entre los resultados de la prueba diagnóstica y la prueba final específicamente, sino que depende de otros factores como las actividades desarrolladas en cada módulo.

8.3.1.2. Correlación no paramétrica actividades de bioinformática con la prueba final

Tabla 25

Correlación no paramétrica entre las actividades de bioinformática y la prueba final

Correlación no paramétrica		PDB	Chimera	Pubchem	PyRx	DruLiTo	Prueba final
PDB	Correlación de Tau_b de Kendall	1,000	0,318	0,311	-0,025	0,402**	0,248
Chimera		0,318	1,000	0,165	-0,040	0,216	0,320
PubChem		0,311	0,165	-0,040	0,216	0,320	0,084
PyRx		-0,025	-0,040	0,394*	1,000	0,238	-0,128
DruLiTo		-0,402**	0,216	0,149	0,238	1,000	0,323*
Prueba final		0,248	0,320	0,084	-0,128	0,323*	1,000
PDB	Correlación de Rho de Spearman	1,000	0,342	0,358	0,028	0,520**	0,311
Chimera		0,342	1,000	0,191	-0,034	0,264	0,384
PubChem		0,358	0,191	1,000	0,461*	0,199	0,160
PyRx		0,028	-0,034	0,461*	1,000	0,286	-0,166
DruLiTo		0,520**	0,264	0,199	0,286	1,000	0,432*
Prueba final		0,311	0,384	0,106	-0,166	0,432*	1,000

Fuente: Elaboración propia en SPSS

Teniendo en cuenta los resultados en la **Tabla 25**, se presenta una correlación significativa entre la actividad de DruLiTo y la prueba final. En la correlación de Tau_b de Kendall con 0,323*, se identifica una correlación positiva pero débilmente asociada con la prueba final.

Además, en la correlación de Rho de Spearman con un valor de 0,432*, se presenta una correlación positiva y moderadamente asociada con el desempeño de la prueba final. Aunque el coeficiente de Spearman muestra una correlación ligeramente más fuerte, ambos resultados sugieren una relación significativa, con un 95% de confianza.

La actividad de DruLiTo se centra en evaluar si una sustancia psicoactiva (SPA), a partir de sus propiedades químicas atraviesa la barrera hematoencefálica y cómo esto podría influir en el mecanismo de acción en el sistema nervioso central (SNC). Dado que la prueba final evaluó la comprensión de conceptos relacionados con la BHE y el mecanismo de acción de las SPA, los resultados obtenidos durante esta actividad influyen en la correlación positiva y moderadamente significativa en la prueba final.

Por otra parte, es probable que otras actividades también influyen en la determinación del resultado favorable en la prueba final. Es importante tener en cuenta que la correlación no implica causalidad. Por lo tanto, un estudiante que tenga un buen desempeño en una actividad no significa necesariamente que obtenga el mismo resultado, y viceversa. Esto se puede observar en las correlaciones entre la actividad de PDB y DruLiTo, las cuales fueron 0,402**, -0,402** y 0,520** en ambas correlaciones no paramétricas, lo que indica una correlación positiva y negativamente moderada con un 99% de confianza. Asimismo, entre la actividad PubChem y PyRx, se establece una correlación del 0,394* y 0,461*, estos resultados sugieren una correlación positiva de débil a moderada, con una significancia del 95% de confianza.

Estos resultados indican que estas actividades tienen influencia indirecta sobre el desempeño en la prueba final. La actividad de DruLiTo, que presenta una correlación significativa con la prueba final, depende de la realización previa de otras actividades como PDB y PyRx. Por lo tanto, estas actividades anteriores son cruciales para la construcción de los conocimientos en bioinformática, los cuales, a su vez, son determinantes para el desempeño en la prueba final.

8.3.1.3. Correlación no paramétrica actividades sustancias psicoactivas con la prueba final

Tabla 26

Correlación paramétrica entre las actividades de sustancias psicoactivas y la prueba final

Correlación paramétrica		Forms SPA	Mecanismo de acción SPA	Prueba final
Forms SPA	Correlación de Pearson	1	-0,050	0,032
Mecanismo de acción SPA		-0,050	1	-0,180
Prueba final		0,032	-0,180	1

Fuente: Elaboración propia en SPSS

Tabla 27

Correlación no paramétrica entre las actividades de sustancias psicoactivas y la prueba final

Correlación no paramétrica		Forms SPA	Mecanismo de acción SPA	Prueba final
Forms SPA	Correlación de Tau_b de Kendall	1,000	0,048	0,007
Mecanismo de acción SPA		-0,048	1,000	-0,041
Prueba final		0,007	-0,141	1,000
Forms SPA	Correlación de Rho de Spearman	1,000	-0,049	0,056
Mecanismo de acción SPA		-0,049	1,000	-0,200
Prueba final		0,058	-0,200	1,000

Fuente: Elaboración propia en SPSS

Como se puede observar en la **Tabla 26**, la correlación de Pearson se utilizó para medir la relación lineal entre las actividades de mecanismo de acción SPA, formulario de SPA y la

prueba final. Sin embargo, al observar los coeficientes de correlación son positivos y negativamente muy bajos. Dado que los coeficientes de correlación de Pearson fueron débiles o inexistentes, se aplicó la correlación de Spearman y Kendall (**Tabla 27**) para evaluar las relaciones no lineales entre las variables. Los resultados obtenidos confirmaron la debilidad de la correlación entre las actividades del módulo de sustancias psicoactivas y la prueba final.

Por ende, la debilidad en los coeficientes de correlación sugiere que otros factores podrían estar influyendo en el desempeño en la prueba final, ya que el desempeño en la prueba final no depende únicamente de las actividades específicas como la del mecanismo de acción SPA y el formulario de SPA, sino que está influenciado por una serie de otras actividades y recursos utilizados a lo largo del curso.

8.3.1.4. Correlación paramétrica y no paramétrica actividades cromatografía de gases con la prueba final

Tabla 28

Correlación paramétrica entre las actividades de cromatografía de gases y la prueba final

Correlación paramétrica		Conceptos básicos	Partes CG	Columnas CG	Detectores	Prueba final
Conceptos básicos	Correlación de Pearson	1	-0,216	0,291	0,266	-0,423*
Partes CG		-0,216	1	0,394	0,392	0,274
Columnas CG		0,291	0,394	1	0,117	-0,607**
Detectores		0,266	0,392	0,117	1	-0,144
Prueba final		-0,423*	0,274	-0,607**	-0,144	1

Fuente: Elaboración propia en SPSS

A partir de los resultados arrojados en la correlación paramétrica de Pearson en la **Tabla 28**, se identifica una correlación negativa moderada de -0,423* y una correlación negativa alta de -0,607* con el 95% de confianza, entre las actividades de conceptos básicos y columnas CG y la actividad final. En ambos casos, se observa una correlación inversa, lo que indica que a medida que aumentan las puntuaciones en las actividades de conceptos básicos y columnas en cromatografía de gases, las puntuaciones en la actividad final tienden a disminuir o viceversa.

Esto significa que existe una tendencia negativa, pero no determinística, entre las puntuaciones en estas actividades y la actividad final, ya que con el paso del tiempo y a medida que avanzó el curso, los estudiantes consolidaron los conocimientos adquiridos en las primeras actividades, lo que les permitió aplicarlos de manera más efectiva en la prueba final o por el contrario, tener dificultades al desarrollar la prueba final por la agrupación de otros conceptos como herramientas bioinformáticas y la implicación de las sustancias psicoactivas en el sistema nervioso central.

Tabla 29

Correlación no paramétrica entre las actividades de cromatografía de gases CG y la prueba final

Correlación no paramétrica		Conceptos básicos	Partes CG	Columnas CG	Detectores	Prueba final
Conceptos básicos	Correlación de Tau_b de Kendall	1,000	0,096	0,527**	0,156	-0,278
Partes CG		0,088	1,000	0,385*	0,293	-0,173
Columnas CG		0,527*	0,385*	1,000	0,178	-0,521**
Detectores		0,156	0,293	0,178	1,000	-0,121
Prueba final		-0,278	-0,173	-0,521**	-0,121	1,000

Conceptos básicos	Correlación de Rho de Spearman	1,000	0,096	0,527**	0,197	-0,370
Partes CG		0,096	1,000	0,427*	0,376	-0,179
Columnas CG		0,527**	0,427*	1,000	0,174	-0,637**
Detectores		0,197	0,376	0,174	1,000	-0,167
Prueba final		-0,370	-0,179	-0,637**	-0,167	1,000

Fuente: Elaboración propia en SPSS

Teniendo en cuenta la correlación no paramétrica en Kendall y Spearman (**Tabla 29**) entre las actividades de conceptos básicos y partes CG con la actividad de columnas CG, se analiza que hay una correlación positiva moderada a alta, lo cual sugiere una correlación directa y significativa con el 95% y 99% de confianza, entre el desempeño en la actividad de conceptos básicos y la actividad de columnas en CG, así mismo, entre la actividad de partes CG y la actividad de columnas CG. Es decir, los estudiantes que se desempeñaron mejor en la actividad de conceptos básicos y partes CG tienden a tener un mejor desempeño en la actividad de columnas en CG.

En consecuencia, la actividad de columnas en CG, siendo un componente clave en el curso, tiene un impacto importante en la prueba final. Por lo que, los estudiantes al mostrar un mejor desempeño en la actividad de columnas en CG (influenciado por su desempeño en conceptos básicos y partes de CG), se refleja positivamente en su rendimiento en la prueba final.

Finalmente, los resultados del análisis estadístico indican que el desempeño en la prueba final y la comprensión de conceptos complejos como la cromatografía de gases no dependen necesariamente de actividades individuales, sino que se complementan mediante la integración de todas las actividades desarrolladas en el MOOC. Esto se debe a que las actividades intermedias, aunque parecen independientes en el diseño del curso, en realidad se

complementan entre sí y favorecen de manera sinérgica al aprendizaje de los conceptos en cromatografía de gases.

Asimismo, las correlaciones entre la prueba diagnóstico, las actividades intermedias y la prueba final, resalta la importancia del aprendizaje autónomo, ya que los estudiantes deben desarrollar las diferentes actividades a lo largo del curso para construir activamente su propio conocimiento a medida que conectan los conceptos aprendidos en cada actividad, lo que se refleja en el desempeño en la prueba final. Este enfoque resalta la efectividad del MOOC diseñado, ya que demuestra que la estructura del curso promueve la conexión y la aplicación autónoma del conocimiento que, a su vez, tiene un impacto significativo en el aprendizaje de conceptos básicos en cromatografía de gases.

9. Conclusiones y recomendaciones

La efectividad del MOOC fue evaluada por medio de una prueba piloto, comparando la prueba diagnóstico con la prueba final, teniendo como base una calificación de 1 a 5 con una aprobación a partir de 3. Por lo cual, se evidenció que en la prueba diagnóstico hubo una aprobación del 80 % de los estudiantes y respecto a la prueba final, aprobaron 54 % de los estudiantes. No obstante, en la prueba diagnóstico el 76 % aprobó con una calificación regular de 3 y ningún estudiante tuvo aprobación de 5, mientras que en la prueba final se disminuyeron las respuestas regulares y aumentaron las respuestas buenas con aprobación de 4, además se resalta que si hubo respuestas excelentes con aprobación de 5.

De acuerdo con lo anterior, si bien, el porcentaje de aprobación de la prueba final disminuyó respecto a la prueba inicial, el MOOC favoreció el incremento en la calidad de las respuestas y posiblemente el % aprobatorio disminuyó, dado el grado de dificultad para articular

conocimientos, debido a que, la prueba final requiere de la articulación de conceptos. Entonces, se recomienda tomar un MOOC específicamente en el uso de la bioinformática para proponer mecanismos de acción, dado que en este aspecto estuvo la mayor falencia. Sin embargo, hubo un progreso y una construcción autónoma de los conocimientos en el área de la cromatografía de gases con el enfoque pedagógico del ABP.

La comprensión de conceptos complejos como la cromatografía de gases, no debe centrarse solo en actividades individuales del MOOC, ya que la efectividad del mismo en el aprendizaje depende de como todas las actividades del curso se integran y refuerzan mutuamente. Por lo tanto, el aprendizaje autónomo se fomenta a través de esta interconexión, ya que, al enfrentar una serie de actividades, los estudiantes desarrollan habilidades para resolver problemas de manera independiente y aplicar los conocimientos adquiridos en situaciones como el caso forense de Mr. Khat.

Se evaluó los conocimientos previos, con el fin de identificar las necesidades de los estudiantes, con base en esto se diseñó un MOOC que supla estas necesidades para ser pertinente con las temáticas a trabajar. Se resalta que los conocimientos acerca de la cromatografía fueron muy regulares y presentan errores conceptuales. En cuanto al principio de funcionamiento solo el 20% reconoce que las fases deben ser inmiscibles. Por lo cual, fue pertinente explicar los conceptos básicos de cromatografía de gases, partes del equipo, y principio de funcionamiento.

Por otra parte, de la prueba diagnóstico se infiere que los conocimientos de bioinformática son muy regulares. No obstante, la mayoría de los estudiantes ha usado softwares informáticos y el más utilizado es avogadro, por consiguiente, tuvieron buen desempeño en conocer qué es el docking molecular y la diferencia entre un ligando y una proteína, por lo que fue necesario articular la bioinformática con la cromatografía de gases en MOOC para reforzar y potenciar los conocimientos previos.

El 84 % de los estudiantes tuvieron respuestas no apropiadas en la relación de cromatografía con la bioinformática, siendo pertinente el MOOC para relacionar estas áreas del conocimiento, y que además la unión de las mismas permite dar solución a la problemática planteada de Mr Khat.

Fue pertinente que el MOOC fuera trabajado en el contexto de las catinonas sintéticas, pues de acuerdo con la prueba diagnóstica solo el 24% de los estudiantes reconoce esta droga como sustancia psicoactiva, lo cual quiere decir que son poco conocidas por los estudiantes y abordar esta temática puede contribuir a la prevención del consumo.

Se destaca que fue importante diseñar un MOOC que articule la cromatografía con la bioinformática en el contexto de las sustancias psicoactivas, ya que de acuerdo con la prueba diagnóstica la mayoría de los estudiantes no relaciona estas dos disciplinas. Por otra parte, en cuanto a cromatografía se evidencia errores conceptuales como el sistema de inyección de la muestra, el funcionamiento de los detectores, asociar que la fase móvil y la estacionaria interactúan entre sí, no reconocer la naturaleza de los compuestos que se pueden analizar por esta técnica, no tener presente la funcionalidad de la técnica, es decir que la cromatografía identifica y separa compuestos más no que detecta grupos funcionales entre otros. En este sentido, el MOOC es un recurso didáctico que puede aportar en la corrección de errores conceptuales y en el vacío de algunos conocimientos.

Teniendo en cuenta el análisis estadístico entre el desempeño de la prueba final y la comprensión de conceptos complejos, como la cromatografía de gases, no pueden evaluarse de manera aislada basándose únicamente en actividades individuales del curso. En lugar de ello, el éxito en el aprendizaje está intrínsecamente ligado a la integración y desarrollo de todas las actividades desarrolladas a lo largo del MOOC. Esta sinergia entre las distintas actividades del curso facilita un entendimiento más profundo y cohesivo de los conceptos, en este caso específico, la cromatografía de gases. Por lo tanto, para evaluar eficazmente el aprendizaje y el dominio de conceptos complejos, es fundamental considerar cómo las actividades del curso interactúan y se integran para promover un aprendizaje autónomo.

Se contribuyó con el desarrollo de la metodología analítica de identificación de las nuevas sustancias psicoactivas, siendo esto un aporte valioso para la fiscalía general de la nación, debido a la variabilidad estructural de las nuevas sustancias psicoactivas sintéticas como las catinonas con el aporte de los tiempos de retención, rampas de temperatura y condiciones cromatográficas.

El MOOC no reemplaza el laboratorio de la técnica analítica de cromatografía de gases, debido a que, el curso abarca conceptos básicos de cromatografía y es una herramienta que puede cubrir vacíos conceptuales y brindar una oportunidad a las personas que no tuvieron acceso al manejo del cromatógrafo. Sin embargo, se requiere del manejo del equipo para desarrollar otras habilidades.

Se identifica que fue un curso largo ya que, abarca varias temáticas, posiblemente esto puede ser un factor para que un estudiante no finalice su proceso, o quizás el recurso didáctico empleado no se ajusta con su manera de aprender, por ejemplo, necesita hacer uso del manejo del equipo de cromatografía para que los conocimientos teóricos se articulen con la práctica. Otros estudiantes consideraron que fue interactivo, que había un alto nivel de dificultad en los contenidos. Sin embargo, destacan haber articulado la cromatografía con el aprendizaje basado en problemas.

10. Referencias bibliográficas

Banks, M. et al. (2014).

Synthetic cathinones. ("Bath Salts"). J. Emerg. Medicine, 46(5), 632– 642.
<https://europepmc.org/backend/ptpmcrender.fcgi?accid=PMC5556313&blobtype=pdf>

Baumann, M., et al. (2020).

Neuropharmacology of Synthetic Cathinones. Handb Exp Pharmacol, 252(1), 113-142.
doi: 10.1007/164_2018_178

Bermúdez, J. (2021).

El aprendizaje basado en problemas para mejorar el pensamiento crítico: revisión sistemática. Innova Research Journal, 6(2), 77-89.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8226162>

Coppola, M., Mondola, R (2012).

Synthetic cathinones: Chemistry, pharmacology and toxicology of a new class of designer drugs of abuse marketed as "bath salts" or "plant food. Toxicol Lett, 211(2), 144-9. DOI:10.1016/j.toxlet.2012.03.009

- Davara, F. (2017).
La educación digital; los MOOC (II). <https://fernandodavara.com/la-educacion-digital-los-moocs-2/>
- Escobedo, R. et al. (2020).
El aprendizaje autónomo en el sistema a distancia. *Revista de Desarrollo Sustentable, Negocios, Emprendimiento y Educación RILCO DS*, 7(1).
<https://www.eumed.net/rev/rilcoDS/07/aprendizaje-autonomo.html>
- Espert, R. et al. (2015).
Drogas emergentes: catinonas sintéticas (“sales de baño”). *Revista Española de Drogodependencias*, 40(2), 56-7.
https://www.aesed.com/descargas/revistas/v40n2_4.pdf
- Fenollar, C., Ferrer, T. S. (2014).
Structure and regulatory interactions of the cytoplasmic terminal domains of serotonin transporter. *Biochemistry*, 53(33):5444-60. DOI: 10.1021/bi500637f.
- Franco, M. et al. (2008).
Breve historia de la bioinformática. *Colombia Médica*. 39(1), 117-120.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1657-95342008000100015&lng=en&tlng=es.
- Gómez, C. et al. (2014).
Diseño y Desarrollo de un MOOC como Estrategia para el Aprendizaje Propedéutico de la Química. *Jornadas In-Red*, 88-101.
<https://m.riunet.upv.es/handle/10251/168631?show=full>
- Hernández, S et al. (2006).
Concepción o elección del diseño de investigación. En Mares, J (Eds), *Metodología de la investigación* (p.148-149). MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Hernández, S et al. (2006).
Los métodos mixtos. En Mares, J (Eds), *Metodología de la investigación* (p.544-546). MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Jamebozorg, Z. (2022).

The Effectiveness of Massive Open Online Course (MOOCS) in Developing Pedagogical and Psychological Processes: A Thematic synthesis. DOI:10.21203/rs.3.rs-1358584/v1

Lizama, P. Boccardo, G. (2014).

Guía de asociación entre variables (Pearson y Spearman en SPSS). https://www.u-cursos.cl/facso/2014/2/SO01007/1/material_docente/bajar?id_material=994690

Martínez, D. (2021).

Uso de los conceptos de geometría molecular para la enseñanza del efecto de las sustancias psicoactivas [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/81479>

Martínez, J. (2007).

La bioinformática como herramienta para la investigación en salud humana. Salud Pública de México, 49, 64-66. <https://www.redalyc.org/pdf/106/10649028.pdf>

Mendez, C. (s.f.).

Diseño e implementación de cursos abiertos masivos en línea (MOOC): expectativas y consideraciones prácticas. Revista de Educación a Distancia. 39. <https://www.um.es/ead/red/39/mendez.pdf>

Mendoza, C. (2017).

Composición química de DOC, 25B-NBOMe, 25C-NBOMe y modelación In silico de permeabilidad a la barrera hematoencefálica (BHE) [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/63734>

Mercado, R. (2016).

Cursos masivos abiertos en línea: oportunidad o amenaza. UDUAL. 70, 53-68. <https://www.redalyc.org/pdf/373/37348529005.pdf>

Meyer, M., Maurer, H. (2010).

Metabolism of Designer Drugs of Abuse : An Updated Review. Curr. Drug Metab, 11, 468-482. https://mrtoasted.com/~dreamer/docs/2010-Metabolism_of_Designer_Drugs_of_Abuse:_An_Updated_Review.pdf

MINEDUCACIÓN. (2013).

Competencias TIC para el Desarrollo Profesional Docente. https://www.mineduacion.gov.co/1759/articles-339097_archivo_pdf_competencias_tic.pdf

- MNCN. (s.f).
Cromatografía de Gases.
https://www.mncn.csic.es/docs/repositorio/es_ES/investigacion/cromatografia/cromatografia_de_gases.pdf
- Montoro, G. et al. (2017).
7 pasos para diseñar un MOOC de calidad: Una propuesta para la colaboración entre profesores y diseñadores de aprendizaje. Universidad Autónoma de Madrid, 98-107.
<https://ceur-ws.org/Vol-1836/11.pdf>
- Mora, J. (2023).
La bioinformática en la comprensión del dogma central de la Biología molecular [Tesis de grado, Universidad Pedagógica Nacional].
<https://acortar.link/QSH4p4>
- Mulet, M. (2021).
MOOC: desde sus inicios hasta la actualidad. Empresa Cadena de Tiendas CARIBE.
<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.11748.30084>
- Paillet-Loilier, M. et al. (2014).
Emerging drugs of abuse: current perspectives on substituted cathinones. *Subst Abuse Rehabil*, 5(1), 37-52. DOI: 10.2147/SAR.S37257.
- Pedersen, A. et al. (2013).
In vitro metabolism and pharmacokinetic studies on methylone. *Drug Metab. Dispos*, 41(6), 1247–1255. <https://doi.org/10.1124/dmd.112.050880>
- Pérez, M. et al. (2022).
Vista de Software educativo: estrategia de enseñanza sobre cromatografía de gases en la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Ecuador. *Ciencia y Tecnología al servicio del pueblo*, 9(2), 63-76.
<http://190.15.139.149/index.php/utciencia/article/view/455/483>
- Ponce, S., Ruelas, P. (2021).
Beneficios de los MOOC en estudiantes universitarios durante la emergencia académica por la Covid-19. *Praxis Educativa*. 16 (1).
<https://doi.org/10.5212/PraxEduc.v.16.18097.072>
- Poy, R., González, A. (2014).

Factores de éxito de los MOOC: algunas consideraciones críticas. *Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de la Información*, 1(1), 105-118. DOI: 10.4304/risti.e1.105-118

Quispe, A et al. (2019).

Estadística no paramétrica aplicada a la investigación científica con software SPSS, MINITAB Y EXCEL. Editorial EIDEC. <https://www.editorialeidec.com/wp-content/uploads/2020/01/Estad%C3%ADstica-no-param%C3%A9trica-aplicada.pdf>

Rodríguez, R., Cortés, M. (2021).

Sars CoV2, una experiencia de la bioquímica en contexto para la enseñanza de conceptos asociados a las proteínas. *Revista de Educación a Distancia (RED)*, 21(67). <https://revistas.um.es/red/article/view/465221>

Salcedo, H. (2011).

Los objetivos y su importancia para el proceso de enseñanza-aprendizaje. *Revista de Pedagogía*, 32(91), 113-130. <https://www.redalyc.org/pdf/659/65926549007.pdf>

Sánchez, M. (2022).

La evaluación como una forma de aprender en el desarrollo de habilidades procedimentales de la técnica de separación de cromatografía de gases [Tesis de maestría, Universidad Pedagógica Nacional]. <https://acortar.link/eURd7y>

Siemens, G. (2004).

Connectivism: A Learning Theory for the Digital Age. <http://www.elearnspace.org/Articles/connectivism.html>

Silva, A et al. (2018).

Prevención del consumo de sustancias psicoactivas. Un aporte desde la neurociencia y el aprendizaje basado en proyectos ABP. *Revista Iberoamericana de Educación*. 8 (1). <https://doi.org/10.35362/rie7813214>

UNODC. (2016).

Métodos recomendados para la identificación y el análisis de las catinonas sintéticas en los materiales incautados. https://www.unodc.org/documents/scientific/STNAR49_Synthetic_Cathinones_S.pdf

UNODC. (2016).

Directrices para la validación de métodos analíticos y la calibración del equipo utilizado para el análisis de drogas ilícitas en materiales incautados y especímenes biológicos. https://www.unodc.org/documents/scientific/Validation_Manual_STNAR41_Ebook_S.pdf

UNODC. (2021).

DROGAS SINTÉTICAS Y NUEVAS SUSTANCIAS PSICOACTIVAS EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE 2021.
https://www.unodc.org/documents/scientific/21-02921_LAC_drug_assessment_S_ebook.pdf

Yagües, G. (2008).

Temas 3. Cromatografía de gases.
<https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8247/3/T3gascromat.doc;T3gascromat.doc>

11. Anexos

Anexo 1. Prueba diagnóstico

1. ¿Qué entiende usted por cromatografía? Defina el término en un párrafo?
2. Para que se lleve a cabo la separación de la muestra por la técnica de cromatografía de gases, se necesita una fase móvil y una fase estacionaria. En este sentido, las fases deben ser:
 - Inmiscibles
 - Miscibles
 - Parcialmente miscibles
3. La cromatografía de gases sirve para separar compuestos de qué naturaleza
 - Volátiles
 - Los que no se volatilizan fácilmente
 - Sólidos

4. Describa los conocimientos que tiene acerca de la bioinformática.

5. ¿Qué programas o software ha utilizado usted sobre bioinformática?

Drulito, Avogadro, PDB, PubChem, PyRx, Chimera, Otros.

6. Si seleccionó en el listado anterior "otros", indique cuáles.

7. ¿Qué es docking molecular?

- a) técnica computacional que permite predecir estructuras moleculares y formas de enlace más favorables entre una proteína y un ligando.
- b) Estudia las propiedades de los compuestos moleculares desde los aminoácidos hasta la formación de la proteína.
- c) Un método para determinar la estructura tridimensional de una molécula.

8. ¿Cuál es la diferencia entre un ligando y una proteína?

- Los ligandos son moléculas más grandes que la proteína y un ligando puede generar una proteína.
- Los ligandos son moléculas pequeñas, que pueden tener funciones de hormona, receptor, neurotransmisor y fármaco, mientras que las proteínas son macromoléculas necesarias para la estructura, función y regulación de los tejidos.
- Un ligando y una proteína son idénticos en términos de su capacidad para interactuar con el sitio activo, ya que se unen a él de la misma manera.

9. ¿Cómo se relaciona la bioinformática con la cromatografía de gases?

10. Una sustancia psicoactiva es:

- A) Es una sustancia química de origen sintético que afecta el sistema nervioso central
- B) Es una sustancia química de origen natural que afecta el sistema nervioso central
- C) Es una sustancia química de origen natural y sintético que afecta el SNC.

11. Del siguiente listado, identifique cuáles son sustancias psicoactivas:

Catinonas, alcohol, anfetaminas, azúcar, cigarrillo, etilona, cocaína, fentanilo y morfina.

Anexo 2. Flyer preinscripción al MOOC

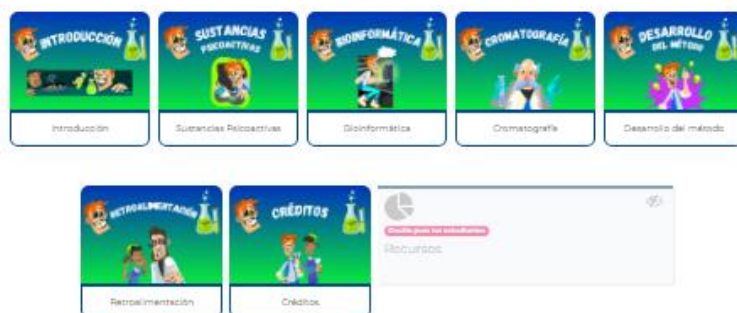


Anexo 3. Massive Open Online Courses

Interfaz del curso



Logo



Módulo introductorio

MÓDULO 1 INTRODUCCIÓN

Presentación

Bienvenidos al curso Muerte misteriosa: Cromatografía de gases en el caso forense de Mr. Khat

A continuación observará el siguiente vídeo de introducción a su proceso de aprendizaje en cromatografía de gases.



Objetivos del curso

1. Comprender conceptos básicos sobre cromatografía de gases y una equimixión a la realización de métodos analíticos mediante el caso forense de Mr. Khat.
2. Fortalecer el uso de herramientas bioinformáticas con base a las mecánicas de neuroentrenamiento producidas por las nuevas sustancias psicoactivas.
3. Analizar las causas y consecuencias de la muerte misteriosa de Mr. Khat.

Ver video

Página siguiente

MÓDULO 1 INTRODUCCIÓN

Foro Introductorio

Un gusto contar con su participación en el MOOC, un curso virtual para el aprendizaje de la cromatografía de gases en el marco de las sesiones síncronas.

Para iniciar este proceso colectivo de conocimiento, nos gustaría saber un poco más de las personas que se encuentran realizando el curso. Por ello les invitamos a responder las siguientes preguntas:

1. Nombre completo y a qué se dedica.
2. ¿Cuáles son sus expectativas en este curso virtual que inicia?

Nos seguimos leyendo...

Ir al foro



Ver video

Página anterior

Página siguiente

MÓDULO 1 INTRODUCCIÓN

Prueba Diagnóstico

¡Los invitamos a diligenciar la prueba diagnóstica!



Le deseamos reconocer los conocimientos que poseen cada uno de ustedes con respecto a temáticas como la Cromatografía, Bioinformática y Sustancias Psicoactivas.

Les daremos una prueba y conteste según corresponda, no dude en responder alguna pregunta.

Ir a la prueba diagnóstica

Ver video

Página anterior

Página siguiente

MÓDULO 1 INTRODUCCIÓN

Caso forense de Mr. Khat

Muerte misteriosa

La química es una ciencia exacta que se caracteriza por ser observable, y usualmente los estudiantes dicen que es "difícil de aprender", lo que los desmotiva a formarse como futuros científicos.

A partir de este curso, te demostraremos que la cromatografía de gases, puede aprenderse a través de un problema como la muerte de Mr. Khat.

Prepara tus sentidos y navega en esta historia.

¡A continuación, encontrará el caso forense de Mr. Khat!



Ver video

¿Qué más a Mr. Khat?

Ver caso

Ir a la prueba

Página anterior

Página siguiente

Página siguiente

Página siguiente

Página siguiente

Página siguiente

40

Página siguiente

121

MÓDULO 3 BIOINFORMÁTICA

Introducción

¡Bienvenido al módulo acerca de Bioinformática!

Aquí encontrarás desde la definición conceptual hasta el manejo y análisis de los software bioinformáticos.

A través de la Bioinformática, planeamos que analicen (Como murio Mr. Khat) es decir que por medio de programas como PDB, Allegro, Chimera, PyRx y Divultra analicen cómo está la Sustancia Paracetamol (SPA) que consumió Mr. Khat para llevarlo a la muerte.

Continúan leyendo para aprender más sobre su mundo misterioso...



[Botón de Ayuda](#)

[Página Sigiente](#)

MÓDULO 3 BIOINFORMÁTICA

¿Qué es la Bioinformática?

Según la National Human Genome (2004) "La Bioinformática es un campo de las ciencias computacionales que tiene a cabo el análisis de secuencias de moléculas biológicas. Normalmente se aplica a los genes, el ADN, el ARN, o a las proteínas, y resulta especialmente útil para comparar secuencias de genes/proteínas entre distintas organismos, pudiendo en las relaciones evolutivas entre organismos, e intentando averiguar cuál es la función de dichos genes y proteínas. Podríamos decir que la Bioinformática se encarga de la parte informática de la genética. De la misma manera que los lingüistas estudian los patrones en el lenguaje, los bioinformáticos estudian los patrones en las secuencias de ADN o de proteínas".

Si desea saber más sobre Bioinformática entre el siguiente documento:

1. La bioinformática como herramienta para la investigación en salud humana - Jesús Martínez Domínguez (2017). [Consultar documento](#)
2. Aplicación de la secuenciación masiva y la bioinformática al diagnóstico microbiológico clínico - Verónica Hernández et al. (2019). [Consultar documento](#)
3. Breve historia de la Bioinformática - María Franco et al. (2008). [Consultar documento](#)

[Botón de Ayuda](#)

[Página anterior](#)

[Página siguiente](#)

MÓDULO 3 BIOINFORMÁTICA

Herramientas Bioinformáticas



Los software bioinformáticos que se trabajarán en este curso permiten investigar, desarrollar y mejorar el manejo de datos biológicos con:

respecto a la salud o un comportamiento biológico, en este caso, enfocados al mecanismo de acción de las sustancias psicoactivas.

Gracias herramientas computacionales, permiten a los investigadores realizar análisis in silico de enormes cantidades de datos que diariamente están disponibles. En ese sentido, el objetivo de realizar investigaciones de carácter biológico, es la construcción de conocimiento que permita tener enfoques predictivos en todas las ciencias de la vida.

Por ello, las técnicas de adquisición de datos, gestión y análisis bioinformáticos tienen un papel clave ya que proporcionan una herramienta para visualizar previamente un conjunto de datos a gran escala.

A continuación, puede los programas que serán necesarios para el desarrollo de este módulo.

De clic en el botón para visualizar un documento, donde se le suministrará cada uno de los datos para descargar los software según su equipo de cómputo.

[Trabaja software](#)

[Botón de Ayuda](#)

[Página anterior](#)

[Página siguiente](#)

MÓDULO 3 BIOINFORMÁTICA

Protein Data Bank (PDB)

(Software Bioinformático)

PDB es una base de datos de la estructura tridimensional de las proteínas y ácidos nucleicos, que son obtenidos mediante cristalografía de rayos X o resonancia magnética nuclear. Datos datos, son enviados por biólogos y bioquímicos de todo el mundo y están bajo el dominio público y pueden ser usados libremente.



Tutorial: Protein Data Bank (PDB)

Guía sobre el manejo de la base de datos PDB. Aquí encontrará el paso a paso de como realizar el trabajo autónomo.

[Ver Documento](#)

[Trabajo Autónomo](#)

Luego el momento de poner sus habilidades en práctica y aprender cómo murio Mr. Khat. Por ello deben seguir una ruta de actividades, recuerde que si presenta dudas con respecto al desarrollo de la actividad en la sesión anterior encuentre una guía con el paso a paso de como usar cada uno de los software bioinformáticos.

[Ver Trabajo Autónomo](#)

[Descarga Trabajo Autónomo](#)

[Botón de Ayuda](#)

MÓDULO 3 BIOINFORMÁTICA

PubChem

(Software Bioinformático)

PubChem es una base de datos de moléculas, que consta de un sistema operado y mantenido por el National Center for Biotechnology Information (NCBI). Con se puede consultar gratuitamente a través de Internet, además de poder descargar los datos de millones de estructuras.



Tutorial: Base de Datos PubChem

Guía sobre el manejo de la base de datos PubChem. Aquí encontrará el paso a paso de como realizar el trabajo autónomo.

[Ver Documento](#)

[Trabajo Autónomo](#)

Luego el momento de poner sus habilidades en práctica y aprender cómo murio Mr. Khat. Por ello deben seguir una ruta de actividades, recuerde que si presenta dudas con respecto al desarrollo de la actividad en la sesión anterior encuentre una guía con el paso a paso de como usar cada uno de los software bioinformáticos.

[Ver Trabajo Autónomo](#)

[Descarga Trabajo Autónomo](#)

[Botón de Ayuda](#)

[Página anterior](#)

[Página siguiente](#)

MÓDULO 3 BIOINFORMÁTICA

Avogadro

(Software Bioinformático)

Avogadro es un software que permite dibujar estructuras moleculares. Es una buena herramienta para la química computacional, la bioinformática, las ciencias de los materiales y otras áreas relacionadas. Además, ofrece una representación flexible de alta calidad que permite la visualización de moléculas en 3D en cualquier dirección.



Tutorial: Software Avogadro

Guía sobre el manejo de Avogadro. Aquí encontrará el paso a paso de como realizar el trabajo autónomo.

[Ver Documento](#)

[Trabajo Autónomo](#)

Luego el momento de poner sus habilidades en práctica y aprender cómo murio Mr. Khat. Por ello deben seguir una ruta de actividades, recuerde que si presenta dudas con respecto al desarrollo de la actividad en la sesión anterior encuentre una guía con el paso a paso de como usar cada uno de los software bioinformáticos.

[Ver Trabajo Autónomo](#)

[Descarga Trabajo Autónomo](#)

[Botón de Ayuda](#)

[Página anterior](#)

[Página siguiente](#)

MÓDULO 3
BIOINFORMÁTICA

UCSF Chimera

(Software Bioinformático)

UCSF Chimera es un inspeccionador de programas para la visualización y el análisis interactivo de estructuras moleculares y datos relacionados, incluidos mapas de densidad, trayectorias y alineamiento de secuencias.



¿Qué sobre el menú de UCSF Chimera?

Aquí encontrará el paso a paso de cómo realizar la actividad.

Ver documento

Trabajo Autónomo

Llegó el momento de poner sus habilidades en práctica y aprender cómo murió Vin. ¡Vale! Por ello deben seguir una ruta de actividades, recuerde que si presenta dudas con respecto al desarrollo de la actividad en la animación anterior encuentre una guía con el paso a paso de cómo usar cada uno de los software bioinformáticos.

Ver Trabajo Autónomo

Seguir Trabajo Autónomo

Botón de Búsqueda

Página anterior

Página siguiente

MÓDULO 3
BIOINFORMÁTICA

PyRx

(Software Bioinformático)

PyRx es un software de detección virtual para el descubrimiento computacional de fármacos que se puede utilizar para evaluar fármacos de compuestos frente a proteínas dianas farmacológicas. PyRx permite a los químicos moléculas nuevas evaluarlas virtualmente desde cualquier plataforma y ayuda a los usuarios en cada paso de este proceso, desde la preparación de datos hasta el envío de trabajo y el análisis de los resultados.



¿Qué sobre el menú del software bioinformático PyRx?

Aquí encontrará el paso a paso de cómo realizar el trabajo autónomo.

Ver documento

Trabajo Autónomo

Llegó el momento de poner sus habilidades en práctica y aprender cómo murió Vin. ¡Vale! Por ello deben seguir una ruta de actividades, recuerde que si presenta dudas con respecto al desarrollo de la actividad en la animación anterior encuentre una guía con el paso a paso de cómo usar cada uno de los software bioinformáticos.

Ver Trabajo Autónomo

Seguir Trabajo Autónomo

Botón de Búsqueda

Página anterior

Página siguiente

MÓDULO 3
BIOINFORMÁTICA

DruLito

(Software Bioinformático)

DruLito es una herramienta de detección virtual de código abierto. Su cálculo se basa en diversas reglas de semejanzas con los drógos, como la regla de Lipinski, la regla similar a HICOL, la regla de Tice, el filtro Ghose, la regla SAS, la regla similar a ClogP y la estimación cuantitativa de semejanzas con los drógos (QSAR). DruLito utiliza el Chemistry Development Kit (CDK), una biblioteca de desarrollo.



¿Qué sobre el menú de software bioinformático DruLito?

Aquí encontrará el paso a paso de cómo realizar el trabajo autónomo.

Ver documento

Trabajo Autónomo

Llegó el momento de poner sus habilidades en práctica y aprender cómo murió Vin. ¡Vale! Por ello deben seguir una ruta de actividades, recuerde que si presenta dudas con respecto al desarrollo de la actividad en la animación anterior encuentre una guía con el paso a paso de cómo usar cada uno de los software bioinformáticos.

Ver Trabajo Autónomo

Seguir Trabajo Autónomo

Botón de Búsqueda

MÓDULO 3
BIOINFORMÁTICA

Fin del módulo Bioinformática

(Actividades por llegar hasta aquí)

Después de su último trabajo, le notificamos que ha terminado exitosamente el módulo Bioinformático. ¡Felicitaciones! Sin embargo, aún le queda un camino por recorrer y muchos conocimientos. Pase al siguiente módulo por medio del botón "Siguiente módulo".



Siguiente módulo

Botón de Búsqueda

Página anterior

Modulo cromatografía

MÓDULO 4 CROMATOGRAFÍA

Tipos de Detectores

(Cromatografía de gases)

Aquí encontrará una infografía sobre los tipos de detectores en cromatografía de gases:

[Ver infografía](#)



Una vez haya visto la infografía, dé clic en el siguiente botón y realice el cuestionario.

[Ver cuestionario](#)

[Ver curso](#)

[Página anterior](#)
[Página siguiente](#)

MÓDULO 4 CROMATOGRAFÍA

Fin del módulo Cromatografía

(Felicidades por llegar hasta aquí!)

Después de su arduo trabajo, le notificamos que ha terminado exitosamente el módulo Cromatografía. Felicidades! En este momento, usted ya posee un certificado para revisar y recibir sus conocimientos. Pase al siguiente módulo por medio de botón "Siguiente módulo".

[Siguiente módulo](#)



[Página anterior](#)

Módulo desarrollo del método

MÓDULO 5 DESARROLLO DEL MÉTODO

¿Qué mató a Mr. Khat?

(Bienvenidos al último módulo de este curso!)

En este módulo encontrará una pequeña descripción acerca del procedimiento que los químicos forenses desarrollaron para responder al interrogante ¿Qué sustancia psicoactiva mató a Mr.Khat en la fiesta?

Tras la llegada de los químicos forenses por la alerta de la muerte de Mr.Khat, se reunieron diferentes evidencias para encontrar la causa de muerte, entre ellas una muestra de sangre y un sobre con polvo blanco. Al no tener una pista de cuál fue la razón por la que murió Khat, los químicos deciden hacer:

- Un análisis toxicológico de su sangre.
- Una prueba de color azul para el polvo blanco.

Los resultados en la muestra de sangre evidenciaron una sobredosis por presencia de un alcaloide y al tiempo por colorimetría lo confirmó.

Los químicos forenses interrogaron al amigo de Mr.Khat y él les dio una aproximación a la sustancia que mató al joven universitario. Él finalmente dijo: "Se trata de un alcaloide sintético", por lo que los químicos se enfocaron a que se analizará de las nuevas sustancias psicoactivas (NSP).

[Ver curso](#)

[Página siguiente](#)

MÓDULO 5 DESARROLLO DEL MÉTODO

¡Importante!

A pesar de lo anterior se evidencia que Khat murió por una sobredosis al consumir una sustancia psicoactiva sintética, lo que lleva a los químicos forenses a realizar el análisis del polvo blanco involucrado por medio de cromatografía de gases, una técnica de separación especializada en la identificación de sustancias psicoactivas.

Después de obtener esta información, la investigación se centró en el desarrollo de métodos analíticos, con el fin de elaborar una metodología eficaz para un análisis cualitativo y cuantitativo de NSP a través de la técnica de cromatografía de gases.

Para comenzar con su proceso de análisis, se preparó un MOI de dicloroetano en el cual se encontraban diferentes patrones o estándares de sustancias psicoactivas, esto con el fin de desarrollar un método de identificación de NSP con respecto al tiempo de retención de la muestra.

[Ver curso](#)

[Página anterior](#)
[Página siguiente](#)

Atención:

En el desarrollo de un método, inicialmente se debe realizar una revisión bibliográfica exhaustiva sobre algún método que se haya realizado con respecto a los

Este método establece unas condiciones cromatográficas idénticas con las que trabajar la degradación de estas muestras, es decir, este contiene especificaciones de los reactivos en la siguiente imagen:

Condiciones de

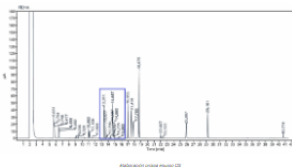
INVEST. (2014). *Valuation recommendations from the identification of activities in the Definitive Offering are based on preliminary conclusions. VALUATION BASED ON THE UNADJUSTED DEBT AND EQUITY OF THE COMPANY*

Si desea saber más acerca de *Métodos de identificación y análisis de SPA*, [haga clic aquí](#)

nte las especificaciones del funcionamiento del cronómetro recomendadas por la UNODC, si realizó una modificación a las reglas de juego ver la ficha nota mixta denominada "Primera modificación", diríjase al botón.

Primer modification

Figura 1. Cromatograma MIX alcaloides - Primera modificación



Search the Journal

[Página anterior](#)

Página siguiente

diffusione da mezzo del giornalista

FINCENSO Y ARRASTRO DEL EQUIPO



* *Journal of International Law*, 1994, 17, 1.



— El mundo de los niños y niñas en el mundo de hoy



http://www.mhhe.com/9780130352373

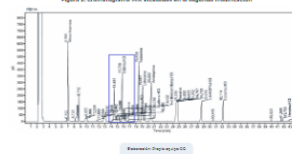
A small cartoon character with orange hair, wearing a blue suit and tie, is shown with a large lightbulb idea above his head. He is pointing upwards with his right hand.

ver la modificación de las rampas de temperatura que se le realizó a la primera modificación. Para ver el archivo o ficha del método con la modificación, vaya al siguiente botón.

Segunda modificación

Después de correr el MIX de alcaloides en el cromatógrafo con el método de la segunda modificación, se obtuvo el cromatograma de la figure 2.

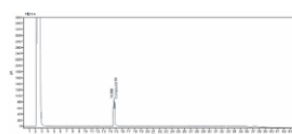
Fluor 3. Construcción MIV alcoholas en la segunda modificación.



A partir del cromatograma anterior se logra obtener el MX de disolventes con una separación y resolución "aceptable", como se visualiza en la sección de las 12 a las 16 min. En esa sección, se identifica tiempo de retención de 14.031 y 15.720 min, los cuales no se logran visualizar en la primera modificación. A partir de la anterior los químicos forenses proceden a realizar un análisis del pico blanco aislado.

La preparación de este polvo consta de 1 g de la muestra en 1 ml de etanol en un vial para conservar y evitar que la muestra se contamine. Posteriormente los análisis proceden a inyectar 1 μ l de la solución y luego de 40 minutos se obtiene el cromatograma de la figura 2.

Figura 2. Cronograma de la muestra aplicada en la segunda modificación.



MÓDULO 5 DESARROLLO DEL MÉTODO

Método NSP

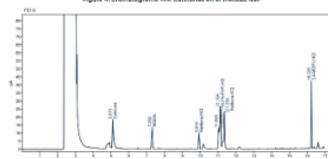
Al realizar la modificación de los tiempos de temperatura en un método cromatográfico, implica volver a correr todas las muestras analizadas, ya que, cuando se modifica la temperatura los tiempos de retención en las muestras o esperar cambiar los tiempos.

En esta página encontrará el método NSP al cual se desea. Únicamente en la separación de catinonas sintéticas, este presenta sus respectivas modificaciones de los tiempos de temperatura. Si desea ver el gráfico o foto del método desarrollado, vaya al botón "Método NSP".

[Método NSP](#)

Después de correr el MIX de Catinonas por el cromatógrafo con el método NSP se obtuvo el cromatograma de la figura 4.

Figura 4. Cromatograma MIX Catinonas en el método NSP



Resolución: 1000x1000px

En el cromatograma anterior se evidencia una buena separación de todas las catinonas sintéticas en el MIX, lo que permite realizar un buen análisis con respecto a la muestra problema. Ahora, ya podrá saber que Catinona mató a Mr. Khat.

A continuación, encontrará un botón que le dirigirá al trabajo autónomo final del curso:

[Trabajo autónomo](#)

[Oírse trabajo autónomo](#)

[Botón de salida](#)

[Página anterior](#)

[Página siguiente](#)

MÓDULO 5 DESARROLLO DEL MÉTODO

Fin del módulo Desarrollo del método

[Felicitados por llegar hasta aquí!](#)

Después de su arduo trabajo, le notificamos que si llegó hasta aquí, significa que usted resolvió el misterio sobre que mató a Mr. Khat.

[Felicitados, usted es un excelente químico forense!](#)

En el siguiente módulo encontrará la retroalimentación de la actividad...

[Siguiente módulo](#)



[Página anterior](#)

Módulo retroalimentación

MÓDULO 6 RETROALIMENTACIÓN

Retroalimentación

[Fin del curso](#)

Cuando químicos forenses, al llegar a este módulo significa que usted terminó todas las actividades para descubrir que mató a Mr. Khat.

Aquí encontrará una retroalimentación sobre la actividad final y la investigación de todo el caso forense.

Para ello ingrese al botón retroalimentación.

[Vaya a la retroalimentación](#)



[Página siguiente](#)

MÓDULO 6 RETROALIMENTACIÓN

Fin del módulo de retroalimentación

[Muchas gracias por su participación!](#)

En el siguiente módulo denominado "Calificación" podrá visualizar los aprendizajes a quienes han contribuido con el desarrollo del I+D+i.

Además, podrá descargar su certificado de participación. El certificado estará habilitado en los próximos días.

[Siguiente módulo](#)



[Página anterior](#)

Anexo 4. Historieta ¿Quién mató a Mr. Khat?





Anexo 5. Cuestionario conceptos sustancias psicoactivas

1. Indique las 3 formas de clasificación de las sustancias psicoactivas.

2. La adicción es un desorden neurológico en el sistema de recompensa del sistema nervioso central, que obedece a estímulos específicos y naturales.

A) Verdadero

B) Falso

3. Las células nerviosas se comunican a través de mensajeros químicos, si la neurona es estimulada lo suficiente hay un potencial de acción. Lo anterior hace referencia a:

- A) Un neurotransmisor que se produce en la neurona y viaja por el axón para generar el potencial de acción.
- B) Un neurotransmisor que se produce en el axón y viaja por el torrente sanguíneo para generar el potencial de acción.
- C) Un receptor que se une a un neurotransmisor y genera un potencial de acción.

4. En la terminal nerviosa de la neurona se libera el neurotransmisor entre el espacio que hay de una neurona a otra.

- A) Verdadero
- B) Falso

5. ¿Por qué la persona tiene efectos placenteros cuando consume una droga estimulante? Explique el proceso.

6. Principalmente una droga estimulante genera:

- A) Inhibe los mecanismos cerebrales
- B) Distorsionan la percepción sensorial del individuo.
- C) Euforia y aumenta el estado de alerta

Anexo 6. Cuestionario mecanismo de acción sustancias psicoactivas

El cuestionario se desarrolló en Forms y su acceso lo obtiene mediante el siguiente link:

https://forms.office.com/Pages/ResponsePage.aspx?id=nGREgiPT_k6Tg1M4a_CM6GD5nxEMSStKsSewEDBRQA9UMIJSMTzTjFKTEpDNEtDNktUVlc2Nk1SUy4u

Anexo 7. Actividad PDB: Búsqueda de proteínas.



Actividad N° 1. Protein Data Bank: Selección de la proteína

Nombre completo:

1. Ingrese a la página web PDB: <https://www.rcsb.org/>
2. Busque las siguientes proteínas en la base de datos:

Código de las proteínas	4WNT 4WNO 4XRY
-------------------------	----------------------

3. Organice la información de todas las proteínas en la siguiente tabla:

Criterio de Selección	4WNT	4WNO	4XRY
1. ¿La proteína tiene ligandos?			
2. ¿Cuál es la calidad del ligando?			
3. ¿Cuál fue el método de cristalización?			
4. ¿Cuál es la Resolución en amperios?			
5. ¿Cuál es el valor de R-Libre?			

4. Teniendo en cuenta los parámetros de selección, argumente cuál es la proteína con mejor calidad.
5. Luego de seleccionar la proteína, descargarla en "PDB Format".

¡Atención!

Esta proteína que usted seleccionó será con la cual debe trabajar en las siguientes actividades; cuando se le indique deberá llevar este archivo al Software Chimera para realizar su limpieza.



Anexo 8. Actividad PubChem y Avogadro: Búsqueda y optimización de los ligandos.



Actividad 2. PubChem: Selección de los ligandos

Nombre completo:

1. Ingrese a la base de datos PubChem: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>
2. Busque los siguientes ligandos:

Ligandos	Serotonin Dopamine Norepinephrine Cathinone
----------	--

3. Posteriormente, descargue los ligandos en formato 3D conformer (SDF).

¡Atención!

Al realizar la actividad, debes enviar capturas de pantalla de cada uno de los pasos para descargar los ligandos.

Recuerda guardarlos con los respectivos códigos y en una carpeta en específico, ya que los necesitarás para la siguiente actividad "Optimización de ligandos".





Actividad 3. Avogadro: Optimización de los Ligandos

Nombre completo:

Después de descargar los ligandos de la base de datos PubChem, se debe realizar su respectiva optimización para obtener ligandos estables energéticamente que puedan unirse al sitio activo.

1. Abrir el Software Avogadro y seleccionar cada uno de los archivos de los ligandos.
2. Realizar la optimización de cada uno de los ligandos.
3. Guardarlos en Formato PDB o mol 2.



Anexo 9. Actividad Chimera: Limpieza de la proteína.



Actividad 4. Chimera: Limpieza de la proteína

Nombre completo:

Después de seleccionar la proteína con mayor calidad, se le debe realizar una limpieza, dejando la proteína únicamente con la cadena con el sitio activo y sin presencia de moléculas de Agua.

1. Entrar al Software Chimera y abrir el archivo de la Proteína seleccionada.
2. Seleccionar las cadenas con peor sitio activo y eliminarlas.
3. Eliminar las moléculas de H₂O en la cadena seleccionada.
4. Ya tienes la proteína limpia y lista para guardar en formato PDB.

¡Atención!

Al realizar la actividad, debes enviar capturas de pantalla de cada uno de los pasos para dejar la proteína limpia.



Anexo 10. Actividad PxRy: Docking y conformación más estable.





Actividad 5. PyRx: Afinidad y estabilidad entre proteínas y ligandos

Nombre completo:

Teniendo la proteína limpia en Chimera y los ligandos optimizados en Avogadro, proceda a utilizar el software PyRx:

1. Entrar el Software PyRx, previamente descargado.
2. Cargar la proteína seleccionada.
2. Cargar los ligandos optimizados (Serotonin, Dopamine, Norepinephrine).
3. Definir el rol de cada molécula “Make Macromolecule” ó “Make Ligand”.
4. Iniciar el Docking.
5. Analizar los resultados.

Posteriormente, realizar los mismos pasos y en lugar de los ligandos cargar la Cathinone como “Make Ligand”.

¡Atención!

Al realizar la actividad, debes analizar la afinidad y estabilidad de los ligandos con la proteína seleccionada. Resaltando que ocurre cuando la catinona se une al sitio activo de la proteína de la isoforma CYP_{2D6} seleccionada y porque comienzan sus efectos psicoactivos.



Anexo 11. Actividad DruLito: Potencial farmacológico.



Actividad 6. DruLiTo: Potencial farmacológico de las moléculas

Nombre completo:

Para confirmar si Mr. Khat murió por una sobredosis, es necesario que se identifique si la sustancia psicoactiva logra o no atravesar la barrera hematoencefálica del cerebro; ya que cuando una sustancia atraviesa esta barrera llega al encéfalo y altera el sistema nervioso central (SNC) del cuerpo.

1. Abrir el software DruLiTo, previamente descargado.
2. Ir a "Browse" y seleccionar la Cathinone.
3. Calcular las propiedades.
4. Seleccionar el ítem "Lipinski Rule" y aplicar el filtro.
5. Ir a la pestaña "Lipinski Rule".
6. Analizar e identificar si la Sustancia Psicoactiva logró atravesar la barrera hematoencefálica.

¡Atención!

- Al realizar la actividad, debes argumentar cómo y porqué la SPA atraviesa o no la barrera hematoencefálica (BHE), resaltando las propiedades de la BHE y la estructura de la sustancia.
- De acuerdo con el uso de las herramientas bioinformáticas proponga un mecanismo de acción, donde se tenga en cuenta de la interacción de la proteína con los ligados (Serotonin, Dopamine y Norepinephrine) y la Sustancia Psicoactiva (Cathinone), esto teniendo en cuenta las alteraciones que hay en SNC.



Anexo 12. Actividad interactiva: Conceptos básicos de cromatografía.

Esta actividad se encuentra en la plataforma donde se diseñó el MOOC, por ello se deja algunas referencias de su estructura y contenido.

¡Bienvenidos!

En esta actividad, van a seleccionar la pareja de cada uno de los conceptos mencionados.

¡Suerte!. Nos vemos muy pronto...

Cromatograma	Elegir...
Resolución	Elegir...
Altura de pico	Elegir...
Adsorción	Elegir...
Fase estacionaria	Elegir...
Tiempo de retención	Elegir...
Ancho de la base	Elegir...
Factor de retención	Elegir...
Volumen de retención	Elegir...
Volumen muerto	Elegir...

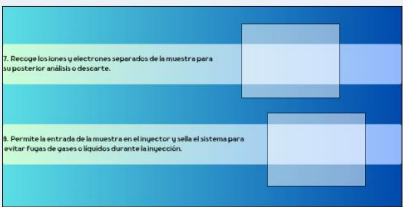
Anexo 13. Actividad interactiva: Partes del cromatógrafo.

Esta actividad se encuentra en la plataforma donde se diseñó el MOOC, por ello se deja algunas referencias de su estructura y contenido.

Arrastra y suelta las imágenes de las partes del cromatógrafo de gases con su respectiva su definición.

7. Recoge los iones y electrones separados de la muestra para su posterior análisis o descarte.

8. Permite la entrada de la muestra en el inyector y sella el sistema para evitar fugas de gases o líquidos durante la inyección.

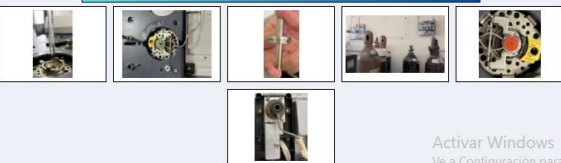
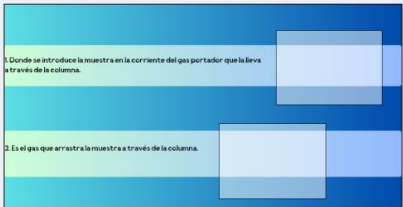


Activar Windows
Ve a Configuración pa

Arrastra y suelta las imágenes de las partes del cromatógrafo de gases con su respectiva su definición.

1. Donde se introduce la muestra en la corriente del gas portador que la lleva a través de la columna.

2. Es el gas que arrastra la muestra a través de la columna.

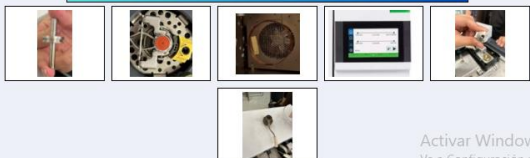
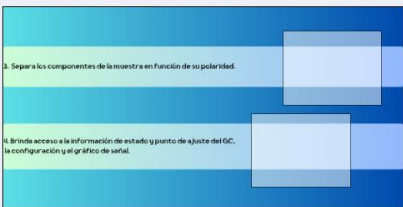


Activar Windows
Ve a Configuración para

Arrastra y suelta las imágenes de las partes del cromatógrafo de gases con su respectiva su definición.

3. Separa los componentes de la muestra en función de su polaridad.

4. Brinda acceso a la información de estado y punto de ajuste del GC, la configuración y el gráfico de señal.

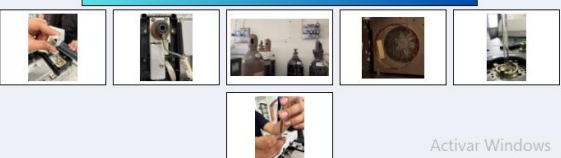
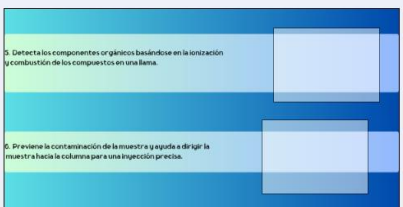


Activar Windows
Ve a Configuración pa

Arrastra y suelta las imágenes de las partes del cromatógrafo de gases con su respectiva su definición.

5. Detecta los componentes orgánicos basándose en la ionización y combustión de los compuestos en una llama.

6. Previene la contaminación de la muestra y ayuda a dirigir la muestra hacia la columna para una inyección precisa.



Activar Windows
Ve a Configuración para

Anexo 14. Actividad interactiva: Selección de una columna cromatográfica.

Esta actividad se encuentra en la plataforma donde se diseñó el MOOC, por ello se deja algunas referencias de su estructura y contenido.

¡Bienvenido!
En la siguiente actividad usted deberá encontrar la pareja de cada uno de los conceptos asignados.
¡Buenas suerte! Nos vemos muy pronto...

Gas transportador	Arrastre la respuesta aquí	Recubrimiento Polimérico de alto peso molecular.
Fase estacionaria menos polar	Arrastre la respuesta aquí	Fase móvil.
Fase estacionaria	Arrastre la respuesta aquí	Tiene mayor vida útil, eficiencia, resolución y sangrado de la columna
La interacción de la fase estacionaria	Arrastre la respuesta aquí	Interacciones fisicoquímicas de las moléculas de los solutos con la fase estacionaria.
Selectividad	Arrastre la respuesta aquí	Proporciona una capacidad superior de solutos.
Polaridad	Arrastre la respuesta aquí	Se dividen en dispersión, dipolar y de enlaces de hidrógeno.
Columna capilar	Arrastre la respuesta aquí	Consisten de un delgado tubo de vidrio de sílice.
Mayor espesor en la columna	Arrastre la respuesta aquí	Es proporcional a la longitud de la columna en condiciones de temperatura isotérmica.
Columnas de bajo sagrado	Arrastre la respuesta aquí	Es un factores que influye en la retención del compuesto, la mayor retención se obtiene para los solutos con características químicas similares
La retención del soluto	Arrastre la respuesta aquí	Son más inertes y poseen límites de temperatura superiores.

Anexo 15. Actividad Cuestionario: Tipos de detectores.

Esta actividad se encuentra en la plataforma donde se diseñó el MOOC, por ello se deja algunas referencias de su estructura y contenido.

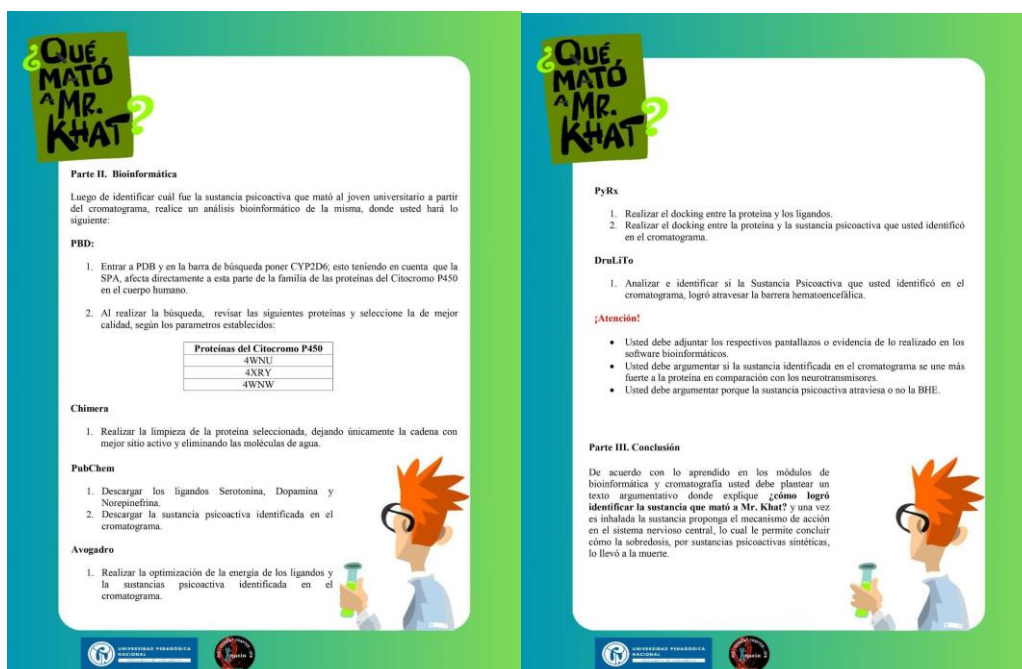
Llegó al laboratorio una muestra desconocida y se les solicita a los analistas que identifiquen la composición de la muestra y que la cuantifique. El analista decide utilizar la cromatografía de gases como técnica de identificación y cuantificación, pero no sabe que detector utilizar. En este sentido, usted ayude al analista con qué tipo de detector puede trabajar y **¿por qué?** Tenga en cuenta que la muestra es desconocida.



La gasolina y el diésel se obtienen a través de la destilación fraccionada del petróleo crudo. No obstante, estos difieren en su composición y temperatura de ebullición. En un laboratorio llegó una muestra de gasolina para identificar si tenía presencia de octano, con el fin de evaluar la calidad de la combustión. El analista químico va a identificar presencia de octano a través de la cromatografía de gases, pero no está seguro cual detector utilizar. **¿Cuál cree usted que sería el detector apropiado para este análisis?**

Seleccione una:

- ☐ I. Detector de ionización de llama, porque es sensible al número de carbonos provenientes de la columna y a los enlaces C-H.
- ☐ II. El detector de captura electrónica, porque cuando la muestra pasa por el proceso de pirólisis, el detector responde a compuestos muy electronegativos.
- ☐ III. El detector nitrógeno-fósforo, porque es un detector altamente sensible a los enlaces C-H.



Anexo 17. Primera modificación de las condiciones cromatográficas

MÉTODO RAMPA 4



Acquisition Method: ALCALOIDES 2023-12-14 rampa4.amx

Path: D:\CDSPROJECTS\RODRIGO RODRIGUEZ -INVESTIGACION\Results\MIX ALCALOIDES 2023-12-14 rampa 4.sirsl

1 Method Information

Last	D:\CDSPROJECTS\RODRIGO RODRIGUEZ -	Modified:	2023-12-14 15:40:37-05:00	Modifier:	SYSTEM (SYSTEM)
Saved As:	INVESTIGACION\Methods\ALCALOIDES 2023-12-14 rampa4.amx	Creator:	SYSTEM (SYSTEM)	Description:	(SYSTEM)
Created:	2023-12-14 15:40:37-05:00	Method Status:	Generic		
Version:	2023-12-14-2040-37362				

2 GC

Module Display Name:	Agilent 8860	Module Type:	GC	Order:	1
----------------------	--------------	--------------	----	--------	---

2.1 GC Summary

Run Time:	41.5 min	Post Run Time:	2 min
-----------	----------	----------------	-------

2.2 Oven

Equilibration Time:	0.5 min	Max Temperature:	310 °C	Maximum Temperature Override:	Disabled
---------------------	---------	------------------	--------	-------------------------------	----------

2.2.1 Temperature

Setpoint:	On	(Initial):	90 °C	Hold Time:	1 min
Post Run:	310 °C				

Program

Rate	Value	Hold Time
10 °C/min	155 °C	0 min
15 °C/min	190 °C	0 min
1 °C/min	205 °C	0 min
3 °C/min	240 °C	0 min
15 °C/min	300 °C	1 min

Anexo 18. Segunda modificación de las condiciones cromatográficas

MÉTODO RAMPA 5



Acquisition Method: ALCALOIDES 2024-04-24 rampa5.amx

Path: D:\CDS\PROJECTS\RODRIGO RODRIGUEZ -INVESTIGACION\Results\MUESTRA MIX CONC RAMPA 5 2024-04-25.sirslt

1 Method Information

Last	D:\CDS\PROJECTS\RODRIGO RODRIGUEZ -	Modified:	2024-03-23 02:12:42-05:00	Modifier:	SYSTEM (SYSTEM)
Saved As:	INVESTIGACION\Methods\ALCALOIDES 2024-04-24 rampa5.amx				
Created:	2024-03-22 16:56:12-05:00	Creator:	SYSTEM (SYSTEM)	Description:	
Version:	2024-0322-2156-12407	Method Status:	Generic		

2 GC

Module Display Name:	Agilent 8860	Module Type:	GC	Order:	1
----------------------	--------------	--------------	----	--------	---

2.1 GC Summary

Run Time:	43,5 min	Post Run Time:	2 min
-----------	----------	----------------	-------

2.2 Oven

Equilibration Time:	0,5 min	Max Temperature:	310 °C	Maximum Temperature Override:	Disabled
---------------------	---------	------------------	--------	-------------------------------	----------

2.2.1 Temperature

Setpoint:	On	(Initial):	90 °C	Hold Time:	1 min
Post Run:	310 °C				

Program

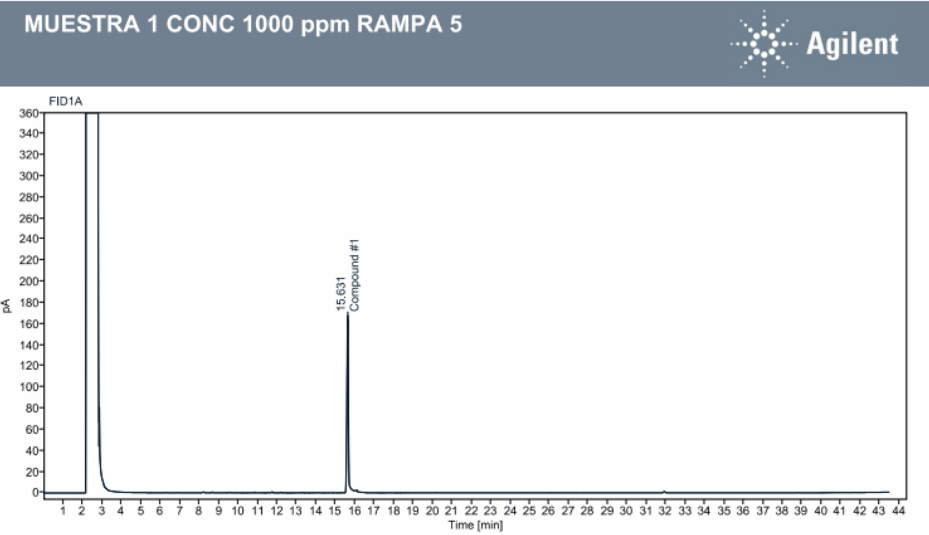
Rate	Value	Hold Time
10 °C/min	155 °C	0 min
15 °C/min	190 °C	0 min
1 °C/min	195 °C	0 min
0,5 °C/min	197 °C	0 min
1 °C/min	205 °C	0 min
3 °C/min	240 °C	0 min
15 °C/min	300 °C	1 min

Acti

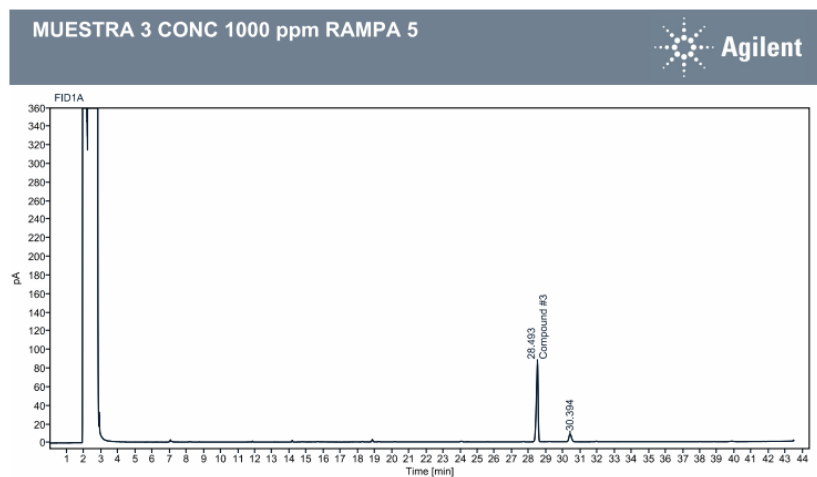
Ve a l

Anexo 19. Cromatogramas de las muestras en la segunda modificación de las condiciones cromatográficas

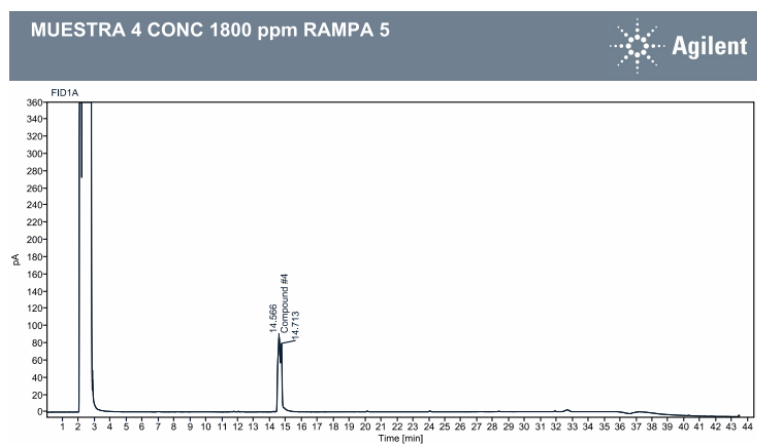
Muestra 1. Etilona



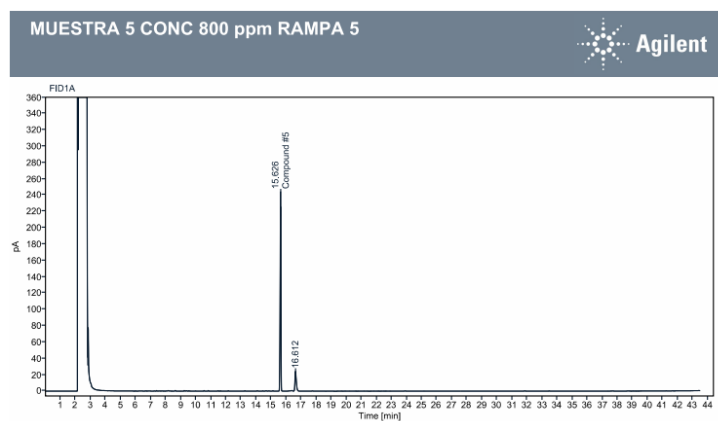
Muestra 3. MDPV



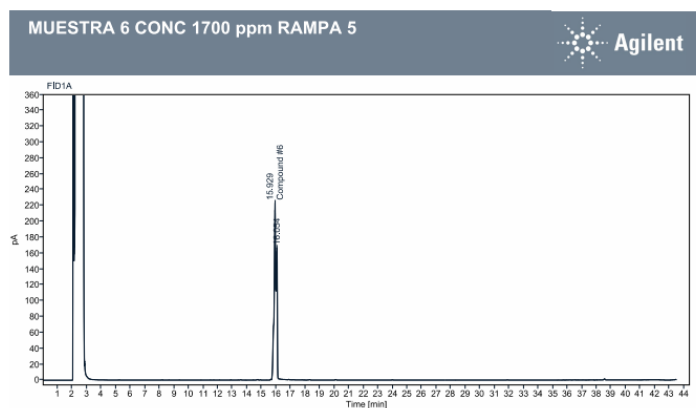
Muestras 4. Metilona



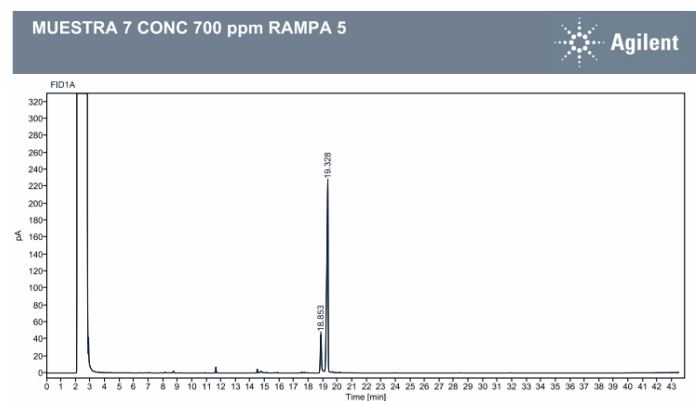
Muestra 5. Alfa PVP



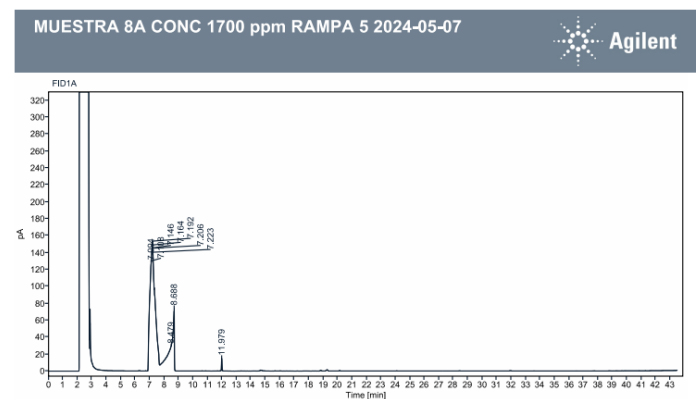
Muestra 6. Butilona



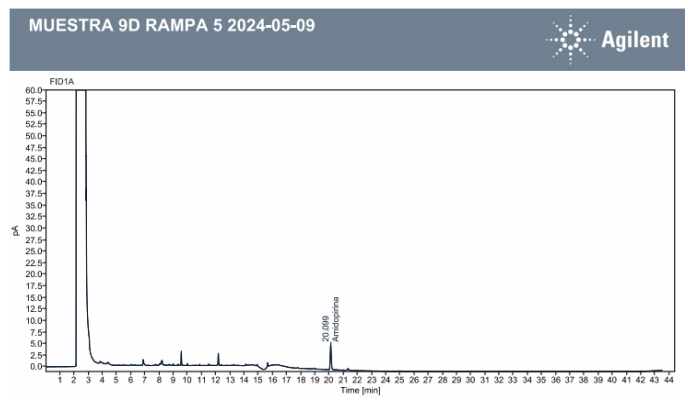
Muestra 7. Etilnorpentilona



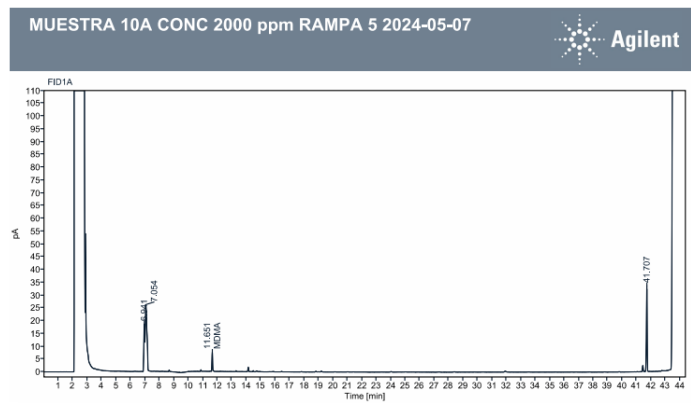
Muestra 8. Metanfetamina



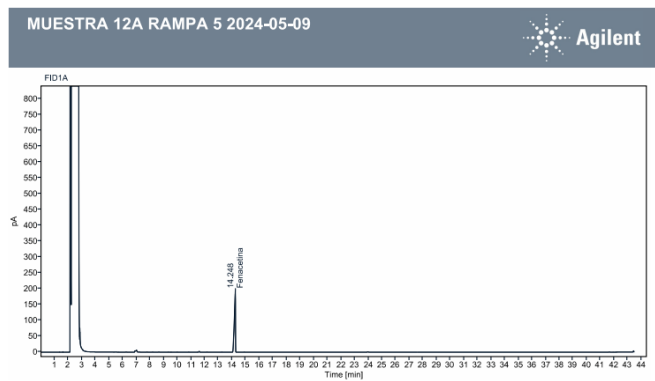
Muestra 9. Amidopirina



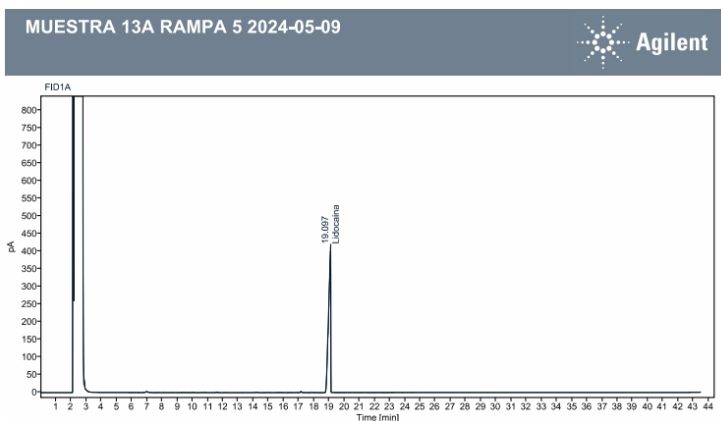
Muestra 10. Heroína



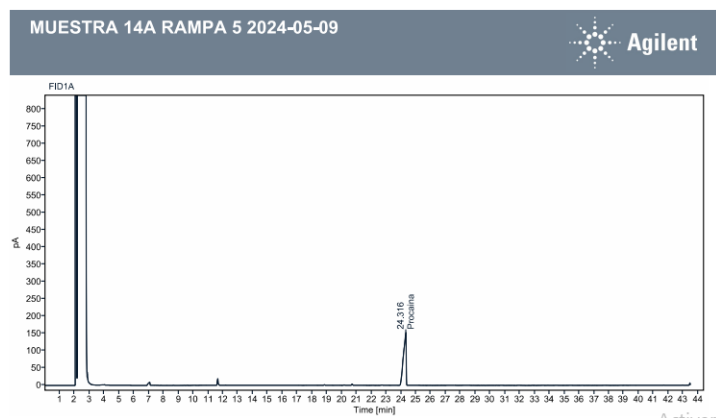
Muestra 12. Fenacetina



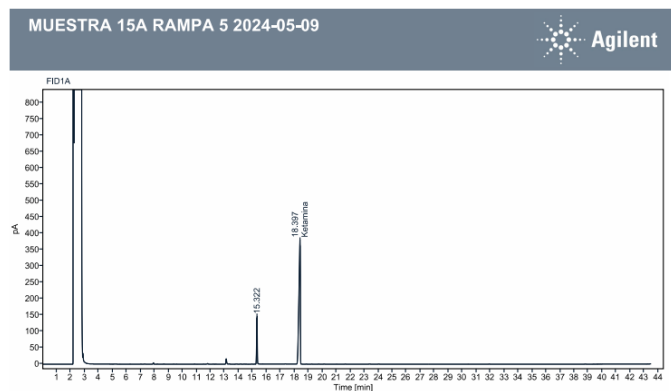
Muestra 13. Lidocaína



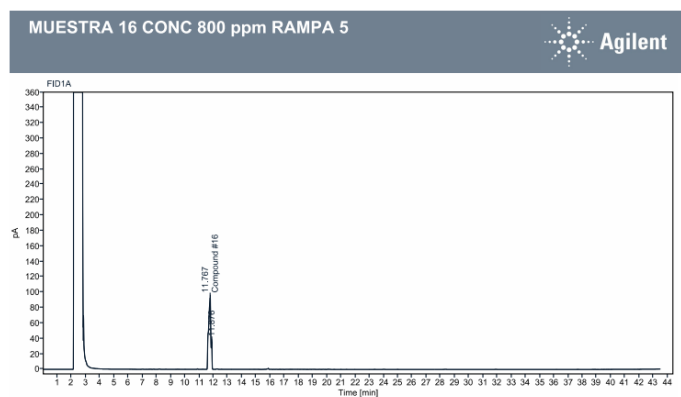
Muestra 14. Procaína



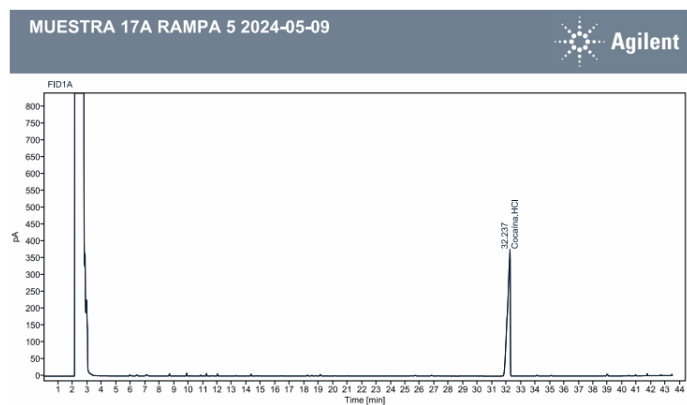
Muestra 15. Ketamina



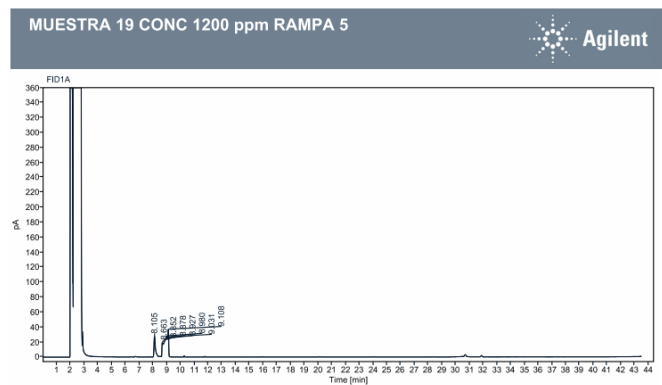
Muestra 16. MDMA



Muestra 17. Cocaína



Muestra 19. Catinona



Anexo 20. Modificación de las condiciones cromatográficas método NSP

MÉTODO RAMPA 1

Acquisition Method: CATINONAS 2024-04-30 rampa 1.amx
Path: D:\CDSPROJECTS\RODRIGO RODRIGUEZ -INVESTIGACION\Results\MUESTRA MIX CATINONAS INT 2 -RAMPA 1 2024-05-03 -4.sirsi

1 Method Information

Last Saved As: D:\CDSPROJECTS\RODRIGO RODRIGUEZ -INVESTIGACION\Methods\CATINONAS 2024-04-30 rampa 1.amx

Modified: 2024-03-24 02:24:51-05:00

Modifier: SYSTEM (SYSTEM)

Created: 2024-03-24 01:18:32-05:00

Creator: SYSTEM (SYSTEM)

Description: (SYSTEM)

Version: 2024-0324-0618-32423

Method Status: Generic

2 GC

Module Display Name: Agilent 8880

Module Type: GC

Order: 1

2.1 GC Summary

Run Time: 16,95 min

Post Run Time: 2 min

2.2 Oven

Equilibration Time: 0,5 min

Max Temperature: 310 °C

Maximum Temperature Override: Disabled

2.2.1 Temperature

Setpoint: On (Initial): 120 °C

Hold Time: 0 min

Post Run: 310 °C

Program

Rate	Value	Hold Time
15 °C/min	180 °C	0 min
5 °C/min	192 °C	0 min
0,3 °C/min	194 °C	0 min
120 °C/min	300 °C	3 min

Arti

Anexo 21. Cromatogramas de las muestras método NSP

Muestra 1. Etilona

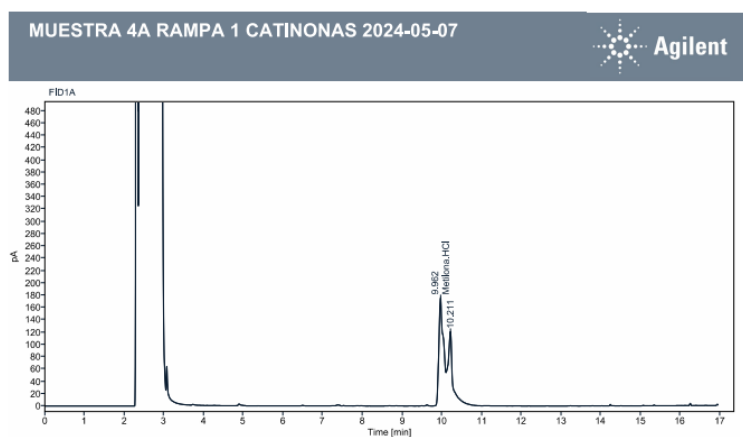
MUESTRA 1A RAMPA 1 CATINONAS 2024-05-03

Muestra 3. MDPV

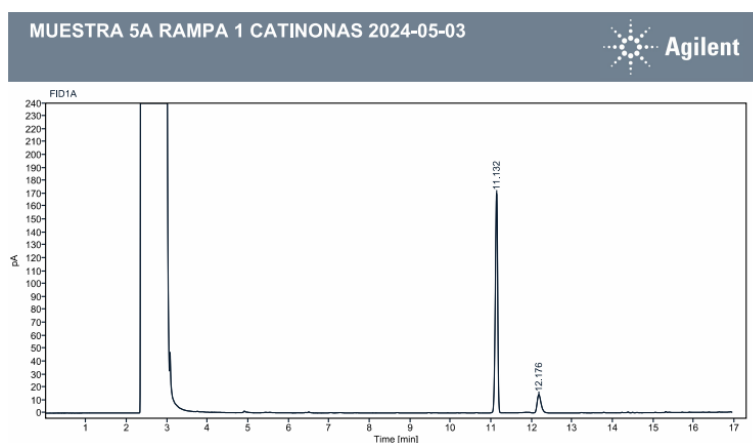
MUESTRA 3A RAMPA 1 CATINONAS 2024-05-07

146

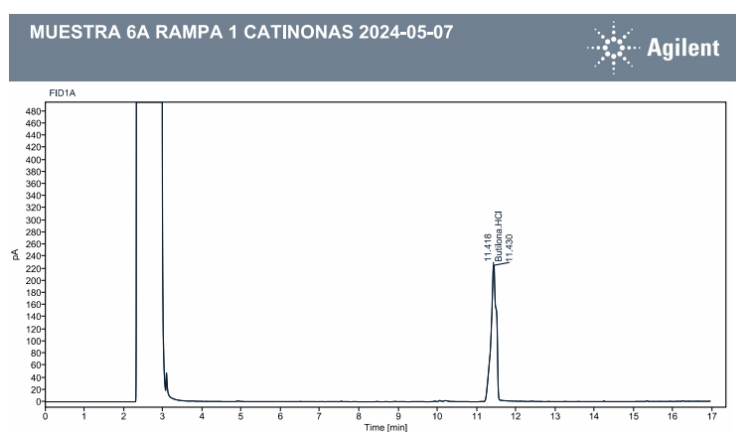
Muestra 4. Metilona



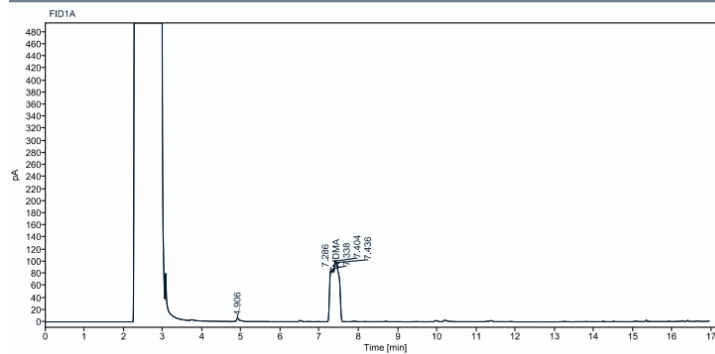
Muestra 5. Alfa PVP



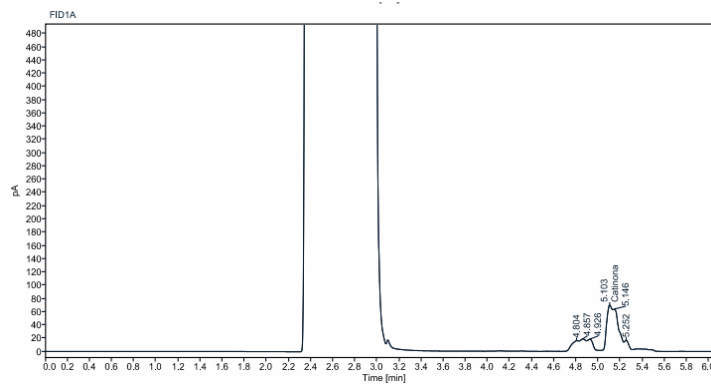
Muestra 6. Butilona



Muestra 16. MDMA



Muestra 19. Catinona



Anexo 22. Retroalimentación actividad final

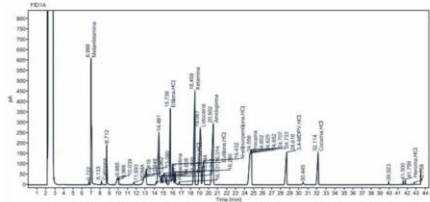
1) Contexto

El joven Mr. Khat fue hallado muerto posiblemente por una sobredosis de sustancias psicoactivas sintéticas, los químicos forenses encontraron en su cuerpo trazas de un polvo blanco y el análisis toxicológico en la muestra de sangre dio positivo para alcaloides sintéticos, no obstante, para emitir un reporte final y esclarecer la causa de su muerte es necesario identificar qué sustancia causó la sobredosis y como actuó en el sistema nervioso central.

2) Identificación de la sustancia psicoactiva sintética

Dado que el análisis toxicológico dio positivo para alcaloides sintéticos, se utilizó la técnica de cromatografía de gases, puesto que estos compuestos tienen elevados puntos de ebullición y los componentes de la muestra no se descomponen, para lo cual se obtuvo el siguiente cromatograma a partir de una mezcla de patrones de alcaloides.

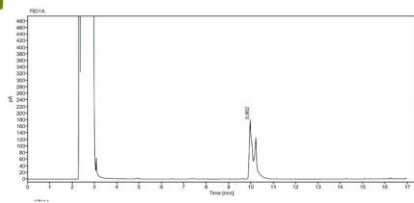
Figura 1: Cromatograma del mix de alcaloides



Elaboración propia equipo CG

Después, los químicos forenses inyectaron en el cromatógrafo la muestra del polvo blanco con el respectivo tratamiento, arrojando el siguiente cromatograma.

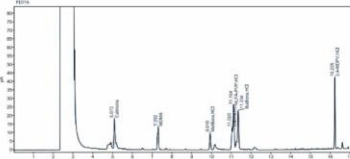
Figura 2: Cromatograma de la muestra problema



Elaboración propia equipo CG

Note que la señal del pico aparece en un tiempo de retención de 9,962 min, cuando se compara este tiempo de retención con el mix de alcaloides no se logra evidenciar a que corresponde, pues en el tiempo de retención entre los 8 min y 17 min hay coelución y la resolución no es muy buena, es decir que en el rango de estos tiempos no hubo una buena separación. Sin embargo, cuando se hace una búsqueda de las propiedades de la región entre los 8 y 17 min, nos indica que son catinonas sintéticas, por lo tanto, se preparó un mix de patrones de solo catinonas, y se desarrolló un método cromatográfico exclusivo para catinonas, el cual incluye nuevas condiciones, especialmente de rampas de temperatura para obtener una mejor separación, el cromatograma obtenido fue el siguiente.

Figura 3: Cromatograma del mix de patrones de solo catinonas



Elaboración propia equipo CG



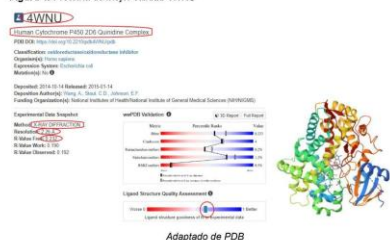
Como se puede observar hubo una mejor separación y resolución en el mix de cationas, por lo que, el cromatograma obtenido con las nuevas condiciones cromatográficas sirve como insumo para compararlo con el de la muestra problema, en este sentido la muestra problema dio un tiempo de retención de 9,962 min. En cual, comparado con los tiempos de retención de los patrones presentes en el mix de cationas, es posible suponer que la muestra problema corresponde a la metilona, ya que esta última tiene un tiempo de retención 9,916 min en el mix, lo cual indica que la sustancia que consumió Mr. Khat fue metilona.

3) Bioinformática

Como ya se identificó que Mr. Khat murió por una sobredosis del consumo de metilona, la manera de conocer como es el mecanismo de acción de la metilona en el sistema nervioso central es con el uso de las herramientas bioinformáticas. Teniendo en cuenta la revisión bibliográfica, las cationas sintéticas son metabolizadas por las proteínas enzimáticas CYP2D6 y cuando se ingiere una droga estimulante como la metilona, se incrementa los niveles de los neurotransmisores serotonina, dopamina y norepinefrina. Con base en esta información se realizó el docking molecular, con el fin de conocer la proteína de mejor calidad, el sitio activo, las conformaciones más estables y si la metilona atravesaba o no la barrera hematoencefálica.

• Selección de la mejor proteína (PDB)

Figura 4: Proteína de mejor calidad 4WNU



Debido a que la metilona es metabolizada por las proteínas CYP2D6 del complejo enzimático del citocromo P450, se realizó una búsqueda en el PDB para seleccionar la proteína de mejor calidad. Tenga en cuenta que cuando usted ingresa en el buscador del



PDB CYP2D6 aparece una lista de proteínas que pertenecen a esta familia y al citocromo P450, por lo tanto es necesario seleccionar la de mejor calidad, por medio de los siguientes parámetros: el método de identificación, si la proteína tiene ligandos, la resolución que debe ser menor a 3 Å, el R libre y la calidad de ligando. Como puede observar en la figura 4 se seleccionó la proteína 4WNU, pues al compararla con las otras proteínas es la que mejor cumple con los parámetros ya mencionados. Ahora para conocer un reporte completo de la proteína y poder realizar el paso a paso del docking molecular, usted debe dar clic en download files y luego en validation full PDF para conocer la cadena de mejor calidad.

Figura 5: Cadena de mejor calidad de la proteína 4WNU

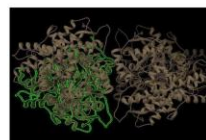
Mol	Chain	Length	Quality of chain
1	A	479	86% 95%
1	B	479	89% 96% 95%
1	C	479	86% 94% 95%
1	D	479	83% 91% 95%

Adaptado de PDB

Para la proteína 4WNU la mejor cadena es la A con el 86% de calidad, con la cual se debe realizar la limpieza en el software de Chimera, eliminando las otras cadenas y las aguas quedando solo la cadena A como sitio de trabajo para realizar el docking molecular.

• Chimera limpieza de la proteína

Figura 6: Limpieza de la proteína 4WNU



Elaboración propia Chimera

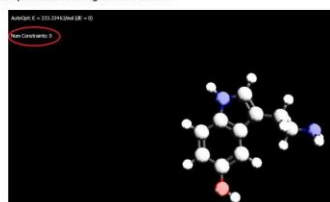
Como se puede observar en la figura 6 la proteína que señala la región verde es antes de la limpieza, y esta región corresponde a la cadena A, es decir que una vez realizado el proceso de limpieza queda la cadena A y la proteína sin moléculas de agua como se puede observar en la proteína del lado derecho.



Una vez limpiada e identificada la proteína se procede a descargar los ligandos serotonina, dopamina, norepinefrina y metilona del Pubchem en formato SDF para ser abiertos desde Avogadro y optimizados.

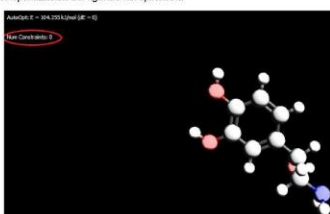
• Avogadro optimización de ligandos

Figura 7: optimización del ligando serotonina



Elaboración propia Avogadro

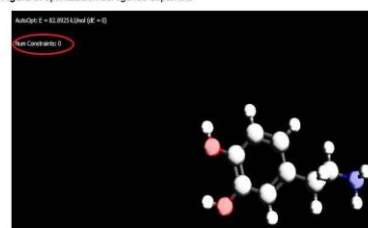
Figura 8: optimización del ligando norepinefrina



Elaboración propia Avogadro

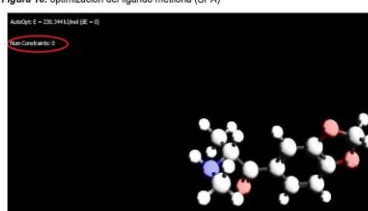


Figura 9: optimización del ligando dopamina



Elaboración propia Avogadro

Figura 10: optimización del ligando metilona (SPA)



Elaboración propia Avogadro



Como puede observar, en las figuras de optimización de los ligandos, las estructuras son más estables y tienen mejor conformación, debido a su estabilidad energética, cuando el valor es cero esto indica que la optimización a finalizado. Además, el valor expresado en KJ/mol es la energía total que tiene cada molécula cuando esta lo mas estable posible.

• PyRx docking molecular

Finalmente, PyRx es la herramienta que permite terminar el docking molecular, cuando la proteína está limpia y con la respectiva cadena de mejor calidad. En la cadena se sitúa el sitio activo y la zona donde interactúan los ligandos. De la misma manera, cuando los ligandos están optimizados y son estables energéticamente, ya podemos analizar el comportamiento que tendrá cada ligando con la proteína de manera independiente y la interacción de todos los ligandos con la proteína.

En este sentido, se puede reconocer que neurotransmisor se unirá primero a la proteína y en que parte de la cadena, así mismo el neurotransmisor y la metilona entran a competir en la unión del sitio activo de la proteína, donde se conoce si se une primero el neurotransmisor o la metilona.

Tabla 1: unión de la proteína con los neurotransmisores y la metilona

Unión de proteína y norepinefrina	Unión de proteína y dopamina	Unión de proteína y dopamina
Unión de proteína y metilona	Unión de proteína y los 3 neurotransmisores	Unión de proteína, neurotransmisores y la metilona



Cuando el docking ha terminado se identifica que la dopamina tiene una energía de -5.7. La serotonina de -6.1. La norepinefrina de -6.0 y la metilona - 6.0 Kcal/mol. Entre mas pequeña sea la energía más estable será la estructura, por ende, se seleccionó el valor mas negativo para cada neurotransmisor y para la metilona respectivamente. Por lo tanto, aunque los sitios de unión entre los neurotransmisores y la metilona sean diferentes, primero se une la serotonina al sitio activo de la proteína, como la norepinefrina y la metilona tienen energías iguales entran a competir por la unión de la proteína y en último lugar se une la dopamina.

• Druilto barrera hematoencefálica

Figura 15: confirmación de que la metilona atraviesa la barrera hematoencefálica.

Indicador	Propiedades	Lipinski's Rule	ClogP	TPSA	QED	VEH	VEH
+	Si	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
+	Si	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

La barrera hematoencefálica es una pequeña capa de células endoteliales situadas en el encéfalo y son las responsables de controlar el paso de posibles sustancias peligrosas, evitando que circulen por la sangre. En este sentido, si la sustancia psicoactiva sintética logra atravesar la barrera hematoencefálica, y si además el consumo se dio en exceso se podría ocasionar la muerte.

Cuando se utiliza druilto como herramienta bioinformática, el software realiza un cálculo de las propiedades de acuerdo con la regla de Lipinski, como se puede observar en la figura 15, las propiedades aparecen de color verde, lo cual indica que la metilona si atraviesa la barrera hematoencefálica, debido a: Cumple con el peso molecular que es 207.9 siendo este valor menor a 500, cuando los pesos moleculares son muy grandes o mayores a 500 hay mas dificultad para a travesar la barrera hematoencefálica.

Por otro lado, el LogP es de 0.83 e indica la relación entre la concentración de la fase lipofílica y la fase acuosa, es decir que la molécula de metilona tiene afinidad por los entornos grasos, lo que conlleva a que tenga buena solubilidad al atravesar las membranas lipídicas. Por otra parte, el HBA fue de 4, lo cual quiere decir que hay 4 átomos de hidrogeno unidos a un átomo altamente electronegativo y el HBD fue 1, el cual indica que hay un átomo electronegativo con pares de electrones libres que pueden aceptar un hidrogeno.

4) Conclusión y reporte final

Mr. Khat murió por sobredosis del consumo de metilona, la cual hace parte de las nuevas sustancias psicoactivas sintéticas, es un derivado anfetamínico, pero con mayor poder de adicción. Khat, en un estado normal realiza actividades agradables como comer, hidratarse y actividades de su gusto, por esa razón su cuerpo emite dopamina, serotonina y norepinefrina de manera natural. No obstante, cuando se ingiere una SPA como la metilona, la droga se apropia de sus estímulos naturales.

El cerebro esta formado por muchas neuronas o células nerviosas, las cuales se comunican a través de mensajeros químicos llamados neurotransmisores, cuando las neuronas son estimuladas lo suficientemente, se genera un impulso en forma de potencial eléctrico y viaja



por el axón hasta la terminal nerviosa, donde se desencadena la liberación del neurotransmisor en el espacio sináptico, el neurotransmisor se une a un receptor de la neurona vecina, generando una señal para transmitirle la información a la neurona.

En consecuencia, al consumir metilona se estimulan las neuronas, y se empieza a incrementar la liberación de dopamina, serotonina y norepinefrina en el espacio sináptico, cada neurotransmisor tiene su receptor correspondiente, por ejemplo, al liberarse dopamina se une al receptor de dopamina, generando una señal a la neurona, lo que ocasiona que haya sentimientos placenteros, luego interactúa la proteína transportadora de dopamina removiendo las moléculas de dopamina del espacio sináptico para enviarlas de nuevo a una neurona transmisora, pero como hay una SPA, lo que ocurre es que bloquea la captación de los transmisores, esto quiere decir que el neurotransmisor permanece mas tiempo en el espacio sináptico y no puede ingresar nuevamente a la neurona transmisora.

Un estimulante como la metilona puede conllevar a la liberación del neurotransmisor incluso en ausencia del potencial eléctrico, el neurotransmisor es acumulado en el espacio sináptico mas de lo normal, causando una sobre estimulación continua en las neuronas receptoras, siendo las responsables de una euforia prolongada e intensa. "Cuando se abusa del consumo de drogas o se empieza a hacer de manera repetitiva, los estímulos naturales se desensibilizan", es decir que para el sistema no será suficiente los neurotransmisores producidos naturalmente para tener un efecto gratificante, generando una dependencia o adicción a la droga.

Teniendo en cuenta lo anterior cuando el joven Khat consumió metilona incrementó demasiado sus niveles de los neurotransmisores en el sistema nervioso central, por ello hay bloqueo en la captación del neurotransmisor, generando altas concentraciones en el espacio sináptico, pero otra de las razones por las cuales se incrementan los neurotransmisores es porque se inhibe la monoaminoxidasa (MAO), esta enzima regula la degradación metabólica de los neurotransmisores, lo cual genera que se incrementen la concentración de los mismos.

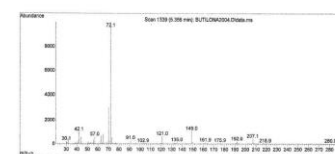
En consecuencia, la bioinformática comprobó que tanto la metilona como los neurotransmisores se unen al sitio activo de la proteína 4WNJ, en el orden que ya se había mencionado anteriormente. La proteína 4WNJ pertenece a la familia de las proteínas CYP2D6, encargadas de la metabolización de los fármacos, como Mr. Khat abuso del consumo de metilona esto le generó una sobredosis llevándolo a su muerte, dado que su organismo no alcanzó a metabolizar ni la droga ni los neurotransmisores.

5) Recomendaciones finales

- Para tener una mayor certeza en la identificación de una SPA se recomienda una separación por cromatografía de gases acoplada a un espectrofotómetro de masas, el cual a través de la relación carga masa y por el peso molecular de la sustancia se confirma que efectivamente si corresponde a esa sustancia. Además, el equipo tiene una biblioteca de espectros que compara con la señal presentada, dando certeza de que compuesto es. A continuación, encontrara un ejemplo del espectro de masas de la butilona.



Figura 16: Espectro de masas de la butilona.



Anexo 23. Categorías del cuestionario ¿Que sabe sobre sustancias psicoactivas?

En esta tabla, se encuentran las categorías con las cuales se clasificó las respuestas a la pregunta: Indique las 3 formas de clasificación de las sustancias psicoactivas.

Excelente	Bueno	Regular	No apropiado
Menciona sólo tres formas de clasificación y profundiza.	Menciona sólo tres formas de clasificación, pero no profundiza.	Menciona sólo dos formas de clasificación.	No menciona ninguna o menciona solo una forma de clasificación

Por otro lado, está la pregunta ¿Por qué la persona tiene efectos placenteros cuando consume una droga estimulante? Explique el proceso. La cual fue clasificada a partir de las siguientes categorías.

Excelente	Bueno	Regular	No apropiado
-Reconoce que las sustancias psicoactivas deben cruzar la barrera hematoencefálica para alterar el sistema nervioso central.	-Reconoce que las sustancias psicoactivas alteran el sistema nervioso central, por medio de la acumulación o aumento de los neurotransmisores.	-Reconoce que las sustancias psicoactivas alteran el sistema nervioso central.	-No reconoce que las sustancias psicoactivas alteran el sistema nervioso central.
-Reconoce que ocurre un bloqueo de la recaptación de neurotransmisores que resulta en una acumulación o aumento de los mismos en el espacio extracelular.			
-Reconoce porque se generan los efectos placenteros por una SPA estimulante.			

Anexo 24. Criterios de evaluación y categorías de la actividad PDB

Tabla

Criterios de evaluación PDB

Criterios de evaluación	4WNT (0,28)	4WNO (0,28)	4XRY (0,28)	Valor de cada criterio
1. La proteína tiene ligandos	Si	Si	Si	0,83
2. Calidad del ligando	Buena calidad	Buena ó media calidad	Baja Calidad	0,83
3. Método de cristalización	X-RAY DIFFRACTION	X-RAY DIFFRACTION	X-RAY DIFFRACTION	0,83
4. Resolución	2,6	1,56	2,5	0,83
5. Argumento la selección de la proteína				0,83
Total				5

Fuente: Elaboración Propia

Por otra parte, se encuentran las categorías con las cuales se clasificó las respuestas a la pregunta: Teniendo en cuenta los parámetros de selección, argumente cuál es la proteína con mejor calidad. Donde el no apropiado corresponde a un 0,33 , el regular a 0,50 , el bueno a 0,66 y el excelente a 0,83.

Tabla

Categorías pregunta abierta PDB

Categoría	Criterios
No apropiado	• Selecciono la proteína con peores parámetros de selección.
Regular	• Selecciona la proteína con una calidad media.

Bueno	• Selecciono la proteína con los parámetros de selección, pero no justifico la selección.
Excelente	• Selecciono la proteína con los parámetros de selección y justifico la selección.

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 25. Criterios de evaluación de la actividad PubChem y Avogadro

En la siguiente tabla, se encuentran los criterios de evaluación para darle calificación a las dos preguntas propuestas en esta actividad.

Criterios de evaluación	Valor de cada criterio
1. Descargo los ligandos	2,5
2. Realizó la optimización de los ligandos	2,5
Total	5

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 26. Criterios de evaluación de la actividad Chimera

En esta tabla, se encuentran los criterios de evaluación para darle calificación a las tres preguntas propuestas en esta actividad.

Criterios de evaluación	Valor de cada criterio
1. Selecciono y descargo la mejor proteína	1,66
2. Eliminó las cadenas con peor calidad	1,66
3. Eliminó las moléculas de agua	1,66
Total	5

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 27. Criterios de evaluación y categorías de la actividad PyRx

En esta tabla, se encuentran los criterios de evaluación para darle calificación a las cuatro preguntas propuestas en esta actividad.

Criterios de evaluación	Valor de cada criterio
1. Subir los ligandos y proteínas.	1,25
2. Asignar Roles.	1,25
3. Docking.	1,25
4. Conclusión.	1,25
Total	5

Fuente: Elaboración Propia

Por otra parte, se encuentran las categorías con las cuales se clasificó las respuestas a la pregunta: Al realizar la actividad, debes analizar la afinidad y estabilidad de los ligandos con la proteína seleccionada. Resaltando que ocurre cuando la catinona se une al sitio activo de la proteína de la isoforma CYP2D6 seleccionada y porque comienzan sus efectos psicoactivos. Donde el no apropiado corresponde a un 0,50 , el regular a 0,75 , el bueno a 1,0 y el excelente a 1,25.

Tabla

Categorías pregunta abierta PxRy

Categoría	Criterios
No apropiado	● Menciona los valores de energía de afinidad para cada unión proteína (calidad mala)-ligando.

Regular	● Menciona los valores de energía de afinidad para cada unión proteína (calidad media)-ligando. ● Justifica la estabilidad de esa mejor conformación. ● Explica los efectos psicoactivos que tiene la unión de la catinona con la proteína.
Bueno	● Menciona los valores de energía de afinidad para cada unión proteína (calidad buena)-ligando. ● Justifica la estabilidad de esa mejor conformación. ● Explica los efectos psicoactivos que tiene la unión de la catinona con la proteína.
Excelente	● Menciona los valores de energía de afinidad para cada unión proteína (calidad buena)-ligando. ● Justifica la estabilidad de esa mejor conformación. ● Menciona el orden de unión del ligando al sitio activo de la proteína. ● Explica los efectos psicoactivos que tiene la unión de la catinona con la proteína.

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 28. Criterios de evaluación y categorías de la actividad DruLiTo

En esta tabla, se encuentran los criterios de evaluación para darle calificación a las cuatro preguntas propuestas en esta actividad.

Criterios de evaluación	Valor de cada criterio
1. Subir catinona	1
2. Calcular propiedades	1
3. Aplicar regla Lipinski	1
4. Análisis I	1
Total	5

Fuente: Elaboración Propia

Por otra parte, se encuentran las categorías con las cuales se clasificó las respuestas a la pregunta: Al realizar la actividad, debes argumentar cómo y porqué la SPA atraviesa o no la

barrera hematoencefálica (BHE), resaltando las propiedades de la BHE y la estructura de la sustancia. Donde el no apropiado corresponde a un 0,4 , el regular a 0,6 , el bueno a 0,8 y el excelente a 1,0.

Tabla

Categorías pregunta abierta DruLiTo

Categoría	Criterios
No apropiado	No menciona las propiedades de la BHE, tampoco explica las propiedades de la catinona y solo justifica el paso a la BHE por la regla de Lipinski.
Regular	- Menciona las propiedades de la BHE. - Solo justifica el paso de la BHE. Teniendo en cuenta la regla de Lipinski y las propiedades de la BHE.
Bueno	- Menciona las propiedades de la BHE. - Explica la estructura de la SPA Catinona. - Justifica el paso de la BHE. Teniendo en cuenta la regla de Lipinski.
Excelente	- Menciona las propiedades de la BHE. - Explica la estructura de la SPA Catinona. - Justifica el paso de la BHE, teniendo en cuenta las propiedades de la BHE, la estructura de la catinona y los factores de la regla de Lipinski.

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 29. Criterios de evaluación sobre la actividad tipo de detectores

El cuestionario de detectores cuenta con seis preguntas, de las cuales dos son abiertas, donde cada pregunta tiene el valor de 0,83 para completar una sumatoria de 5. En la primera pregunta abierta el estudiante debe mencionar cuales son las diferencias entre el detector de ionización de llama y el detector fósforo y nitrógeno. Por lo que se establecen las siguientes categorías para clasificar las diferentes respuestas. Donde el no apropiado corresponde a un 0,33, el regular a 0,50 , el bueno a 0,66 y el excelente a 0,83.

Tabla

Categorías del cuestionario sobre el tipo de detectores

Categoría	Criterios
No apropiado	● No identifica la diferencia entre los 2 detectores. ● No reconoce el principio de funcionamiento.
Regular	● Presenta errores conceptuales. ● Reconoce la diferencia entre los detectores. ● El principio de funcionamiento presenta algunos errores. ● Solo menciona las aplicaciones.
Bueno	● Identifica la diferencia entre los detectores con base en las partes de cada detector. ● Menciona la generación de la llama y la importancia de esta. ● Establece un principio básico de funcionamiento.
Excelente	● Establece la diferencia con base en la selectividad de compuestos de cada detector. ● Menciona el principio de funcionamiento de manera correcta. ● Nombra algunos compuestos que se podrían identificar con los detectores.

Fuente: Elaboración Propia

Agregando a lo anterior, hay otra pregunta donde el estudiante debe ayudar al analista con qué tipo de detector puede trabajar y ¿por qué? Teniendo en cuenta que la muestra es desconocida. Por lo que se establecen las siguientes categorías para clasificar las diferentes respuestas.

Tabla

Categorías del cuestionario sobre el tipo de detectores

Categoría	Criterios
No apropiado	● Selecciona el detector incorrecto y no argumenta las razones.
Regular	● Selecciona el detector adecuado, pero no menciona las razones. ● Selecciona el detector ejemplificando la composición de la muestra desconocida.
Bueno	● Selecciona el detector correcto y explica ¿por qué? ● Identifica que la muestra es desconocida. ● Menciona un principio básico del funcionamiento del detector seleccionado
Excelente	● Explica las razones por las cuales se debe utilizar este detector. ● Menciona porque los otros detectores no son aptos. ● Se aproxima al funcionamiento del detector. ● Establece cómo se realizaría la cuantificación.

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 30. Criterios de evaluación de la actividad final

En las siguientes tablas, se encuentran los criterios de evaluación para darle calificación a las cinco preguntas propuestas en esta actividad; la suma de las cinco preguntas genera la respectiva calificación.

Tabla

Criterios de evaluación Pregunta 1

Criterios de evaluación I. Cromatogramas	Valor de cada criterio
1. Relaciona los tiempos de retención de la muestra problema y el MIX para identificar la sustancia psicoactiva que mató Mr..Khat.	0,5
2. Seleccionó la Metilona como la sustancia psicoactiva que mató a Mr.Khat.	0,5
Total	1

Fuente: Elaboración Propia

Tabla

Criterios de evaluación Pregunta 2

Criterios de evaluación II. Bioinformática	Valor de cada criterio
1. Realizó búsqueda en PDB (proteína de mejor calidad)	0,2
2. Realizó bioinformática Chimera	0,2
3. Realizó búsqueda en PubChem y Avogadro	0,2
4. Realizó Bioinformática en PyRx	0,2
5. Realizó Bioinformática en Drulito	0,2
Total	1

Fuente: Elaboración Propia

Teniendo en cuenta la tabla anterior, se evidencia que cada ítem tiene su respectivo criterio de evaluación:

Tabla

Criterios de evaluación PDB

Criterios de evaluación PDB	de 4WNU (0,013)	4XRY (0,013)	4WNW (0,013)	Valor de cada criterio
1. La proteína tiene ligandos	Si	Si	Si	0,04
2. Calidad del ligando	buena calidad	media calidad	baja calidad	0,04
3. Método de cristalización	X-RAY DIFFRACTION	X-RAY DIFFRACTION	X-RAY DIFFRACTION	0,04
4. Resolución	2,26	2,50	3,30	0,04
5. R.Libre	0,232	0,251	0,287	0,04
Total				0,2

Fuente: Elaboración Propia

Tabla

Criterios de evaluación Chimera

Criterios de evaluación Chimera	Valor de cada criterio
1. Seleccione y descargo la mejor proteína	0,07
2. Eliminó las cadenas con peor calidad	0,07
3. Eliminó las moléculas de agua	0,07
Total	0,2

Fuente: Elaboración Propia

Tabla

Criterios de evaluación Pubchem y Avogadro

Criterios de evaluación Avogadro y Pubchem	Valor de cada criterio
1. Descargo los ligandos.	0,1
2. Realizó la optimización de los ligandos.	0,1
Total	0,2

Fuente: Elaboración Propia

Tabla

Criterios de evaluación PxRy

Criterios de evaluación PyRx	Valor de cada criterio
1. Subir los ligandos y proteínas	0,07
2. Asignar Roles	0,07
1. Subir los ligandos y proteínas	0,07
Total	0,2

Fuente: Elaboración Propia

Tabla

Criterios de evaluación DruLiTo

Criterios de evaluación DruLito	Valor de cada criterio
1. Subir catinona	0,07
2. Calcular propiedades	0,07
3. Aplicar regla Lipinski	0,07
Total	0,2

Fuente: Elaboración Propia

Pasando a la pregunta número 3, encontramos la siguiente tabla.

Tabla

Criterios de evaluación Pregunta 3

Criterios de evaluación II. Análisis I	Valor de cada criterio
1. Describe de manera correcta el orden y el proceso de unión entre los ligandos y la proteína.	1
Total	1

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 22.

Criterios de evaluación Pregunta 4

Criterios de evaluación II. Análisis II	Valor de cada criterio
1. Argumenta el paso de la sustancia psicoactiva por la barrera hematoencefálica teniendo en cuenta la regla de Lipinski	1

Total	1
--------------	----------

Fuente: Elaboración Propia

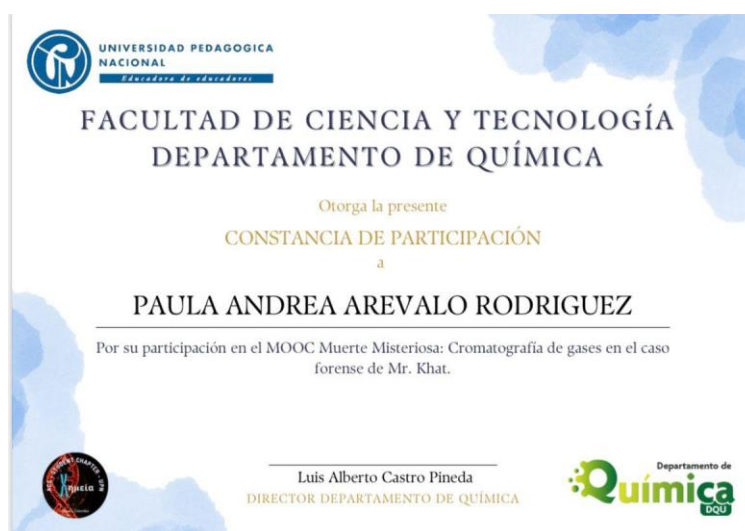
Tabla 23.

Criterios de evaluación Pregunta 5

Criterios de evaluación III. Conclusión	Valor de cada criterio
1. Explica cómo identificó la SPA que mató a Mr. Khat	1
Total	1

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 31. Certificación del MOOC



Fuente: Elaboración Propia

Anexo 32. Guía del estudiante

Massive Open Online Course Guía de aprendizaje

1. Identificación de la guía de aprendizaje

Nombre del curso: Muerte Misteriosa: Cromatografía de gases en el caso forense de Mr. Khat.

Autores: Samanta Pinilla, Kathalina Pardo y Daniela Zaldúa.

Objetivos de aprendizaje:

1. Comprender conceptos básicos sobre cromatografía de gases y una aproximación a la validación del método analítico mediante el caso forense de Mr. Khat.
2. Fortalecer el uso de herramientas bioinformáticas con base a los mecanismos de neurotransmisión producidos por las nuevas sustancias psicoactivas.
3. Analizar las causas y consecuencias de la muerte misteriosa de Mr. Khat.

Resultados de aprendizaje a alcanzar: Identificar a través de la técnica cromatografía de gases que nueva sustancia psicoactiva mató a Mr.Khat y analizar por medio de la bioinformática si la muerte ocurrió por una sobredosis.

Duración del curso: 35 horas

2.Presentación

Estimado participante, se le da la bienvenida al MOOC Muerte Misteriosa: Cromatografía de gases en el caso forense de Mr.Khat, en este curso se va desarrollar a partir de un caso forense plasmado en una historieta llamado ¿que mató a Mr.Khat?. Conforme a lo anterior, el MOOC está estructurado por cinco módulos a desarrollar y dos módulos enfocados en retroalimentación y créditos.

Para el desarrollo de las actividades planteadas en esta guía, contará con un foro de dudas, donde el instructor asignado al programa de forma continua y permanente lo orientará con las pautas necesarias para el desarrollo de las actividades de aprendizaje.

Por último, es importante que organice su tiempo con un promedio de trabajo diario de dos horas, dada la exigencia que demanda la realización de las actividades mencionadas en esta guía de aprendizaje. También es necesario revisar los materiales del programa, realizar consultas en internet y explorar el material complementario.

3. Ruta de aprendizaje

La ruta de aprendizaje consta de seis módulos: Introducción, Sustancias Psicoactivas, Bioinformática, Cromatografía, Desarrollo del método y Retroalimentación; los cuales usted deberá desarrollar linealmente para garantizar una efectividad de aprendizaje de las temáticas. A continuación usted encontrará una ruta la cual debe seguir en cada módulo.

3.1.Módulo introductorio

El módulo introductorio está dividido en 4 actividades que usted debe desarrollar con linealidad, seguidamente encontrará las instrucciones.

3.1.1. Foro introductorio

Descripción de la actividad: Usted debe ingresar al foro y responder junto a su nombre completo, ¿a qué se dedica? y ¿Cuáles son sus expectativas en este curso virtual?.

Requisitos previos a la actividad: Interactuar con los objetivos y el video de presentación del MOOC; tenga en cuenta que esta actividad no es calificable pero se monitorea su participación.

3.1.2.Prueba diagnóstico

Descripción de la actividad: Usted debe diligenciar el respectivo Forms de la prueba diagnóstico, para así dejar registro de cuáles son sus conocimientos previos a comenzar el curso.

Requisitos previos a la actividad: Ninguno.

3.1.3. Nube de palabras

Descripción de la actividad: Por medio de la aplicación Mentimeter, usted debe escribir tres palabras o conceptos que relacione con: Cromatografía, Sustancias Psicoactivas, Bioinformática y el Caso de Mr. Khat.

Requisitos previos a la actividad: Leer la historia ¿que mató a Mr.Khat?.

3.1.4. Mapa conceptual

Descripción de la actividad: Para realizar el mapa conceptual, usted debe principalmente leer la lectura titulada "La bioinformática como herramienta de la cromatografía de gases para identificar alcaloides" que abarca diferentes conceptos que ayudan a comprender y tejer redes, y a partir de ella construir su mapa conceptual.

Requisitos previos a la actividad: Ninguno.

Aquí termina el módulo de introducción y se da paso para aprender de sustancias psicoactivas, teniendo presente que usted tendrá el papel de químico forense y debe encontrar qué mató a Mr.Khat.

3.2. Módulo Sustancias psicoactivas

En este módulo usted va aprender acerca de las Sustancias Psicoactivas y su mecanismo de acción. A continuación, se encuentran las dos actividades que lo componen.

3.2.1. Cuestionario: ¿Que sabe sobre sustancias psicoactivas?

Descripción de la actividad: Usted debe responder el cuestionario sobre conceptos básicos de las sustancias psicoactivas.

Requisitos previos a la actividad: Ver un video llamado “Que son las sustancias psicoactivas - Bienestar UPB saludable” y leer una infografía sobre la clasificación de las sustancias psicoactivas.

3.2.2. Cuestionario: Mecanismo de acción de sustancias psicoactivas.

Descripción de la actividad: Usted debe responder el cuestionario sobre los mecanismos de las sustancias psicoactivas presentes en el software Mouse Party.

Requisitos previos a la actividad: Para resolver el cuestionario, debe ver previamente un video titulado “Mecanismo de la Adicción a las Drogas en el Cerebro, Animación. Alila Medical Media Español” e interactuar con un software educativo llamado Mouse Party. Además, de realizar las lecturas complementarias sobre nuevas sustancias psicoactivas.

Aquí finaliza el módulo sustancias psicoactivas, sigue adelante con tu aprendizaje.

3.3. Módulo Bioinformática

En este módulo usted va a fortalecer el uso de herramientas bioinformáticas, como Protein Data Bank, Pubchem, Avogadro, Chimera, PxBio y DruLiTo. De acuerdo con lo anterior, el módulo está conformado por cinco actividades claves para identificar sus conocimientos y habilidades adquiridas con el uso de softwares bioinformáticos.

3.3.1. PDB: Búsqueda de proteínas

Descripción de la actividad: La actividad consiste en seleccionar y descargar la proteína de mejor calidad según los parámetros establecidos.

Requisitos previos a la actividad:

- Realizar las lecturas complementarias sobre qué es la bioinformática, su historia y aplicación.
- Instalar los softwares Bioinformáticos según lo indica el manual.
- Revisar el video y guía tutorial sobre el manejo de PDB.

3.3.2. PubChem y Avogadro: Búsqueda y optimización de los ligandos.

Descripción de la actividad: La actividad consta de descargar los ligandos serotonina, dopamina, norepinefrina y la sustancia psicoactiva de la base de datos PubChem y luego optimizarlos en Avogadro.

Requisitos previos a la actividad:

- Realizar las lecturas complementarias sobre qué es la bioinformática, su historia y aplicación.
- Instalar los softwares Bioinformáticos según lo indica el manual.
- Revisar el video y guía tutorial sobre el manejo de PubChem y Avogadro.

3.3.3. Chimera: Limpieza de la proteína

Descripción de la actividad: Usted debe limpiar la proteína que se seleccionó en la actividad de PDB, es decir, se debe eliminar las cadenas con peor sitio activo y las moléculas de agua.

Requisitos previos a la actividad:

- Realizar las lecturas complementarias sobre qué es la bioinformática, su historia y aplicación.
- Instalar los softwares Bioinformáticos según lo indica el manual.
- Revisar el video y guía tutorial sobre el manejo de Chimera.

3.3.4. PxRy: Docking y conformación más estable.

Descripción de la actividad: Usted debe realizar el docking molecular entre la proteína seleccionada y limpia con los neurotransmisores dopamina, serotonina, norepinefrina y la sustancia psicoactiva.

Requisitos previos a la actividad:

- Realizar las lecturas complementarias sobre qué es la bioinformática, su historia y aplicación.
- Instalar los softwares Bioinformáticos según lo indica el manual.
- Revisar el video y guía tutorial sobre el manejo de PXRy.

3.3.5. DruLito: Potencial farmacológico.

Descripción de la actividad: Consta de calcular las propiedades y la Lipinski Rule de la sustancia psicoactiva que se está analizando.

Requisitos previos a la actividad:

- Realizar las lecturas complementarias sobre qué es la bioinformática, su historia y aplicación.
- Instalar los softwares Bioinformáticos según lo indica el manual.
- Revisar el video y guía tutorial sobre el manejo de DruLiTo.

Aquí termina el módulo Bioinformática, siga navegando y encuentre que mató a Mr. Khat.

3.4. Módulo Cromatografía

En este módulo usted va a comprender conceptos básicos sobre cromatografía de gases mediante el caso forense de Mr. Khat. De acuerdo con lo anterior, este módulo está conformado

por cuatro actividades claves para identificar los conocimientos y habilidades adquiridos en la técnica cromatográfica.

3.4.1. Actividad interactiva: Conceptos básicos de cromatografía.

Descripción de la actividad: La actividad consiste en seleccionar la pareja de cada uno de los conceptos mencionados.

Requisitos previos a la actividad:

- Leer las infografías sobre la historia de la cromatografía y su respectiva línea de tiempo.
- Identificar cual es la clasificación de los métodos cromatográficos.
- Revisar el video del funcionamiento general de un cromatógrafo de gases.
- Revisar el video sobre conceptos básicos de cromatografía de gases.

3.4.2. Actividad interactiva: Partes del cromatógrafo.

Descripción de la actividad: La actividad consta de relacionar una función del cromatógrafo con la imagen de la parte que la emplea.

Requisitos previos a la actividad: Para realizar correctamente la actividad, usted debe ver el video interactivo de las partes del cromatógrafo.

3.4.3. Actividad interactiva: Selección de una columna cromatográfica.

Descripción de la actividad: La actividad se basa en realizar una relación de columnas o asociar una pareja de un respectivo concepto asociado a la selección de una columna cromatográfica.

Requisitos previos a la actividad: Para realizar correctamente la actividad, usted debe leer la presentación enfocada a la selección de una columna cromatográfica.

3.4.4. Cuestionario: Tipos de detectores.

Descripción de la actividad: La actividad consiste en responder seis preguntas enfocadas a qué tipo de detector usar, en diferentes casos de análisis planteados. Donde cuatro son de selección múltiple y dos son preguntas abiertas.

Requisitos previos a la actividad: Para realizar correctamente la actividad, usted debe leer la infografía sobre los tipos de detectores en cromatografía de gases.

Aquí finaliza el módulo sobre cromatografía. ¡Está muy cerca de encontrar qué le pasó a Mr.Khat!.

3.5. Módulo Desarrollo del método

En este módulo usted va a analizar las causas y consecuencias de la muerte misteriosa de Mr. Khat, a través de una aproximación a la validación del método analítico y el uso de herramientas bioinformáticas para confirmar su sobredosis. De acuerdo con lo anterior, este módulo está conformado por una actividad final que reúne todas las temáticas abordadas en MOOC para llegar a una conclusión sobre la muerte de Mr.Khat.

3.5.1. Actividad Final: ¿Que mató a Mr. Khat?

Descripción de la actividad: La actividad final consiste en tres puntos, donde principalmente usted debe analizar dos cromatogramas para identificar qué sustancia psicoactiva mató a Mr.Khat mediante los tiempos de retención. Posteriormente usted debe realizar una ruta por todas las herramientas bioinformáticas, en especial por PXRy y DruLito para identificar si la sustancia psicoactiva atraviesa la barrera hematoencefálica del cerebro y cómo es su interacción con el sitio activo de la proteína con respecto a los neurotransmisores. Finalmente se debe realizar una conclusión de todo lo evidenciado respondiendo y articulando cual es el mecanismo de acción de la sustancia psicoactiva.

Requisitos previos a la actividad:

- Identificar el contexto de análisis del polvo blanco incautado.
- Leer e interpretar las condiciones de funcionamiento del cromatógrafo de gases.
- Revisar las lecturas complementarias sobre métodos de identificación y análisis de sustancias psicoactivas.
- Comprender el desarrollo de un método inicial a partir del manejo del software del cromatógrafo de gases.
- Interpretar cuáles fueron las modificaciones en las rampas de calentamiento en los tres métodos que se mostraron.

Si usted llegó hasta aquí, significa que culminó las actividades del curso e identificó qué y cómo murió Mr.Khat. Posteriormente, usted va encontrar el módulo de retroalimentación que tiene como objetivo dar a conocer el resultado de la actividad final y la investigación de todo el caso forense.

¡Felicitaciones por lograr el objetivo, usted es un excelente químico forense!

Tenga presente que después de terminar el tiempo de realización del curso, los instructores a cargo de la revisión de su participación le harán la entrega del certificado por cursar Muerte Misteriosa: Cromatografía de gases en un caso forense de manera exitosa.

Anexo 33. Guía docente

Massive Open Online Course Guía de docente

1.Identificación de la guía docente

Nombre del curso: Muerte Misteriosa: Cromatografía de gases en el caso forense de Mr.Khat.

Autores: Samanta Pinilla, Kathalina Pardo y Daniela Zaldúa.

Objetivos de aprendizaje:

1. Comprender conceptos básicos sobre cromatografía de gases y una aproximación a la validación del método analítico mediante el caso forense de Mr. Khat.
2. Fortalecer el uso de herramientas bioinformáticas con base a los mecanismos de neurotransmisión producidos por las nuevas sustancias psicoactivas.
3. Analizar las causas y consecuencias de la muerte misteriosa de Mr. Khat.

Resultados de aprendizaje a alcanzar: Identificar a través de la técnica cromatografía de gases que nueva sustancia psicoactiva mató a Mr.Khat y analizar por medio de la bioinformática si la muerte ocurrió por una sobredosis.

Duración del curso: 35 horas

Metodología del curso: El enfoque pedagógico del massive open online courses es el aprendizaje basado en problemas (ABP), el cual permite que los estudiantes mantengan un aprendizaje de conocimientos y habilidades de modo activo mediante el planteamiento de un problema, como la muerte de Mr.Khat por una sobredosis. A partir de lo anterior, el curso es una estrategia didáctica para el aprendizaje autónomo de la cromatografía de gases.

Población: Estudiantes universitarios de carreras afines a la Química, que previamente hayan cursado seminarios o materias académicas relacionadas con bioquímica, química analítica y se encuentran en ciclos de profundización para finalizar su carrera.

Recursos necesarios para el desarrollo del curso: Computador con acceso a internet y Microsoft Word.

2. Presentación

Estimado docente, se le da la bienvenida a la guía docente del MOOC Muerte Misteriosa: Cromatografía de gases en el caso forense de Mr.Khat, aquí va encontrar la ruta de aprendizaje que deberá realizar cada uno de los estudiantes, es decir, encontrará una descripción de las actividades, sus objetivos y un criterio de evaluación planteado para la misma.

3.Ruta de aprendizaje

La ruta de aprendizaje consta de siete módulos: Introducción, Sustancias Psicoactivas, Bioinformática, Cromatografía, Desarrollo del método, Retroalimentación y créditos; los cuales el estudiante deberá desarrollar de manera linealmente para garantizar una efectividad de aprendizaje de las temáticas. A continuación, usted encontrará una ruta de aprendizaje que el estudiante debe seguir en cada módulo.

3.1.Módulo introductorio

El módulo introductorio está dividido en 4 actividades que debe desarrollar con linealidad el estudiante, seguidamente encontrará las instrucciones.

3.1.1. Foro introductorio

Descripción de la actividad: Él debe ingresar al foro y responder junto a su nombre completo, ¿a qué se dedica? y ¿Cuáles son tus expectativas en este curso virtual que inicias?

Objetivo de la actividad: Identificar las expectativas que tienen los participantes acerca del MOOC.

Criterio de evaluación: Esta actividad no es evaluada, solo se debe hacer el monitoreo de participación del estudiante.

3.1.2. Prueba diagnóstico

Descripción de la actividad: El estudiante debe diligenciar el respectivo Forms de la prueba diagnóstico, para así dejar registro de cuáles son sus conocimientos previos para comenzar el curso.

Objetivo de actividad: Reconocer los conocimientos que poseen cada uno de los estudiantes con respecto a temáticas como la Cromatografía, Bioinformática y Sustancias Psicoactivas.

Criterio de evaluación: El criterio de evaluación se hace a partir de cada una de las preguntas, donde cada una tiene una valoración de 0,45. A continuación encontrará la pregunta y la respuesta esperada:

1.¿Qué entiende usted por cromatografía? Defina el término en un párrafo?

Respuesta esperada: Es una técnica analítica de separación de los diferentes componentes de una muestra, por medio de dos fases inmiscibles una fase estacionaria y una fase móvil, gracias a la diferencia de polaridad y puntos de ebullición de los componentes volátiles de una muestra. El analito no reacciona con la fase móvil y tiene una interacción de absorción con la fase estacionaria donde se lleva a cabo la separación de los componentes.

Teniendo en cuenta la respuesta esperada, se formularon 4 categorías para clasificar las respuestas entre no apropiado que corresponde a 0,18, regular 0,27 , bueno 0,36 y excelente 0,45 (**Tabla 1**).

Tabla 1.

Categorías pregunta uno

Categoría	Criterios
-----------	-----------

No apropiado	● No establece que es la cromatografía. ● No conoce la técnica. ● No menciona que es una técnica de separación de compuestos.
Regular	● Solo reconoce la cromatografía como una técnica de separación, pero no explica el principio básico de la técnica. ● Presenta algunos errores conceptuales en la explicación de la técnica cromatográfica.
Bueno	● Reconoce la cromatografía como una técnica de separación de componentes. ● Explica el principio de funcionamiento de manera básica. ● Identifica las fases de la técnica. ● Presenta errores conceptuales mínimos.
Excelente	● Reconoce la cromatografía como una técnica de separación de componentes. ● Explica el principio de funcionamiento de manera compleja. ● Identifica las fases de la técnica. ● Identifica el tipo de compuestos que se pueden separar por la técnica de cromatografía de gases. ● Menciona ejemplos y aplicaciones. ● Nombra algunas variables en la condiciones cromatográficas.

Fuente: Elaboración Propia

2. Para que se lleve a cabo la separación de la muestra por la técnica de cromatografía de gases, se necesita una fase móvil y una fase estacionaria. En este sentido, las fases deben ser:

- a) Inmiscibles
- b) Miscibles
- c) Parcialmente miscibles

Respuesta esperada: a) Inmiscibles

3. La cromatografía de gases sirve para separar compuestos de qué naturaleza

- a) Volátiles
- b) Los que no se volatilizan fácilmente
- c) Sólidos

Respuesta esperada: a) Volátiles

4. Describa los conocimientos que tiene acerca de la bioinformática.

Respuesta esperada: La Bioinformática es un campo de las ciencias computacionales que lleva a cabo el análisis de secuencias de moléculas biológicas. Normalmente se aplica a los genes, al ADN, al ARN, o a las proteínas, y resulta especialmente útil para comparar secuencias de genes y proteínas entre distintos organismos, pudiendo ver las relaciones evolutivas entre organismos, e intentando averiguar cuál es la función de dichos genes y proteínas.

Teniendo en cuenta la respuesta esperada, se formularon 4 categorías para clasificar las respuestas entre no apropiado, regular, bueno y excelente (**Tabla 2**).

Tabla 2.

Categorías pregunta cuatro

Categoría	Criterios
No apropiado	● No reconoce que la Bioinformática es un campo de las ciencias computacionales. ● No menciona algunas herramientas bioinformáticas y su uso.
Regular	● Reconoce que la Bioinformática es un campo de las ciencias computacionales que lleva a cabo el análisis de secuencias de moléculas biológicas. ● Menciona algunas herramientas bioinformáticas y su uso.
Bueno	● Reconoce que la Bioinformática es un campo de las ciencias computacionales que lleva a cabo el análisis de secuencias de moléculas biológicas. ● Menciona algunas herramientas bioinformáticas y su uso. ● Identifica que a través de la bioinformática se llevan a cabo análisis de genomas, ADN y proteínas.

Excelente	● Reconoce que la Bioinformática es un campo de las ciencias computacionales que lleva a cabo el análisis de secuencias de moléculas biológicas. ● Reconoce que la bioinformática permite hacer ensayos in silico para el desarrollo en diferentes áreas de la industria. ● Menciona que las herramientas bioinformáticas permiten estudiar a través de diferentes bases de datos y software la estructura detallada de moléculas en 3D. ● Identifica que a través de la bioinformática se llevan a cabo análisis de genomas, ADN y proteínas.
------------------	---

Fuente: Elaboración Propia

5. ¿Qué programas o software ha utilizado usted sobre bioinformática?

Respuesta esperada: Drulito, Avogadro, PDB, PubChem, PyRx, Chimera, Otros.

6. Si seleccionó en el listado anterior "otros", indique cuáles.

Respuesta esperada: Depende de cada estudiante.

7. ¿Qué es docking molecular?

- Técnica computacional que permite predecir estructuras moleculares y formas de enlace más favorables entre una proteína y un ligando.
- Estudia las propiedades de los compuestos moleculares desde los aminoácidos hasta la formación de la proteína.
- Un método para determinar la estructura tridimensional de una molécula.

Respuesta esperada: a)

8. ¿Cuál es la diferencia entre un ligando y una proteína?

- a) Los ligandos son moléculas más grandes que la proteína y un ligando puede generar una proteína.
- b) Los ligandos son moléculas pequeñas, que pueden tener funciones de hormona, receptor, neurotransmisor y fármaco, mientras que las proteínas son macromoléculas necesarias para la estructura, función y regulación de los tejidos.
- c) Un ligando y una proteína son idénticos en términos de su capacidad para interactuar con el sitio activo, ya que se unen a él de la misma manera.

Respuesta esperada: b)

9. ¿Cómo se relaciona la bioinformática con la cromatografía de gases?

Respuesta esperada: La bioinformática son herramientas tecnológicas que permiten analizar datos biológicos, las cuales son de gran utilidad y complemento en la cromatografía de gases puesto que, si bien la cromatografía de gases permite separar e identificar componentes de una mezcla, la bioinformática proporciona información de cómo cierto componente está interactuando con las proteínas del cuerpo por ejemplo, neurotransmisores que se activan, la proteína encargada de la metabolización, la unión de la sustancia de interés con el sitio activo de la proteína, mejores conformaciones y estructuras estables energéticamente.

Teniendo en cuenta la respuesta esperada, se formularon 4 categorías para clasificar las respuestas entre no apropiado, regular, bueno y excelente (**Tabla 3**).

Tabla 3.

Categorías pregunta nueve

Categoría	Criterios
No apropiado	● No reconoce la relación entre la bioinformática y la cromatografía de gases. ● Menciona la bioinformática y la cromatografía de forma independiente

Regular	● Establece la relación entre la cromatografía y la bioinformática de manera básica.
Bueno	● Establece y explica la relación entre la cromatografía y la bioinformática. ● Nombra algunos ejemplos.
Excelente	● Identifica el aporte de la bioinformática y la cromatografía de gases ● relaciona la cromatografía de gases con la bioinformática ● menciona ejemplos de cómo están relacionadas

Fuente: Elaboración Propia

10. Una sustancia psicoactiva es:

- A) Es una sustancia química de origen sintético que afecta el sistema nervioso central
- B) Es una sustancia química de origen natural que afecta el sistema nervioso central
- C) Es una sustancia química de origen natural y sintético que afecta el SNC.

Respuesta esperada: C)

11. Del siguiente listado, identifique cuáles son sustancias psicoactivas: Catinonas, alcohol, anfetaminas, azúcar, cigarrillo, etilona, cocaína, fentanilo y morfina.

Respuesta esperada: Catinonas, alcohol, anfetaminas, cigarrillo, etilona, cocaína, fentanilo y morfina.

3.1.3. Nube de palabras

Descripción de la actividad: Por medio de la aplicación Mentimeter, los estudiantes deben escribir tres palabras o conceptos que relacionen con: Cromatografía, Sustancias Psicoactivas, Bioinformática y el Caso de Mr. Khat.

Objetivos de la actividad: Identificar las palabras con las que asocian conceptos clave como cromatografía, sustancias psicoactivas y bioinformática.

Criterio de evaluación: Esta actividad no es evaluada, solo se debe hacer el monitoreo de participación del estudiante.

3.1.4. Mapa conceptual

Descripción de la actividad: Para realizar el mapa conceptual, el estudiante debe principalmente leer la lectura titulada "La bioinformática como herramienta de la cromatografía de gases para identificar alcaloides" que abarca diferentes conceptos que ayudan a comprender y tejer redes, y a partir de ella construir su mapa conceptual.

Objetivos de la actividad: Identificar la estructura cognitiva de los estudiantes a través del análisis de la construcción de un mapa conceptual.

Criterio de evaluación: Se toma como referencia el mapa elaborado por el experto (**Figura 1**) y se establecen los siguientes criterios de evaluación, donde cada ítem tiene el valor de 1,0.

Figura 1.

Mapa de elaborado por el experto

En este módulo el estudiante va aprender acerca de las Sustancias Psicoactivas y su mecanismo de acción; a continuación encontrará sus dos actividades.

3.2.1. Cuestionario: ¿Que sabe sobre sustancias psicoactivas?

Descripción de la actividad: El estudiante debe responder el cuestionario sobre conceptos básicos de las sustancias psicoactivas. Este está compuesto por 4 preguntas cerradas y dos abiertas.

Objetivos de la actividad: Identificar si los estudiantes comprenden que es una sustancia psicoactiva y sus respectivas clasificaciones.

Criterio de evaluación: Cada una de las preguntas tiene una valoración de 1,2. Las preguntas cerradas, se califican de acuerdo a cuál es la pregunta correcta. Sin embargo las abiertas se les asigna un valor de acuerdo a la siguiente tabla, donde el no apropiado corresponde a un 0,48 , el regular a 0,72 , el bueno a 0,96 y el excelente a 1,2.

Preguntas:

1. Indique las 3 formas de clasificación de las sustancias psicoactivas.

Tabla 4.

Categorías pregunta uno

Categoría	Criterios
No apropiado	No menciona ninguna o menciona solo una forma de clasificación.
Regular	Menciona sólo dos formas de clasificación.
Bueno	Menciona sólo tres formas de clasificación, pero no profundiza.
Excelente	Menciona sólo tres formas de clasificación y profundiza.

Fuente: Elaboración Propia

2. La adicción es un desorden neurológico en el sistema de recompensa del sistema nervioso central, que obedece a estímulos específicos y naturales.

Respuesta esperada: Verdadero

3. Las células nerviosas se comunican a través de mensajeros químicos, si la neurona es estimulada lo suficiente hay un potencial de acción. Lo anterior hace referencia a:

A) Un neurotransmisor que se produce en el axón y viaja por el torrente sanguíneo para generar el potencial de acción.

B) Un neurotransmisor que se produce en la neurona y viaja por el axón para generar el potencial de acción.

C) Un receptor que se une a un neurotransmisor y genera un potencial de acción.

Respuesta esperada: B

4. En la terminal nerviosa de la neurona se libera el neurotransmisor entre el espacio que hay de una neurona a otra.

Respuesta esperada: Verdadero

5. ¿Por qué la persona tiene efectos placenteros cuando consume una droga estimulante? Explique el proceso.

La pregunta número cinco se clasifica a partir de la siguiente categorización (**Tabla 5**).

Tabla 5.

Categoría pregunta cinco

Categoría	Criterios
No apropiado	● No reconoce que las sustancias psicoactivas alteran el sistema nervioso central.
Regular	● Reconoce que las sustancias psicoactivas alteran el sistema nervioso central.
Bueno	● Reconoce que las sustancias psicoactivas alteran el sistema nervioso central, por medio de la acumulación o aumento de los neurotransmisores.

Excelente	● Reconoce que las sustancias psicoactivas deben cruzar la barrera hematoencefálica para alterar el sistema nervioso central. ● Reconoce que ocurre un bloqueo de la recaptación de neurotransmisores que resulta en una acumulación o aumento de estos en el espacio extracelular. ● Reconoce porque se generan los efectos placenteros por una SPA estimulante.
------------------	---

Fuente: Elaboración Propia

El cuestionario se desarrolló en Forms, por lo que su acceso y sus respuestas lo obtiene mediante el siguiente link:

https://forms.office.com/Pages/DesignPageV2.aspx?subpage=design&FormId=nGREgiPT_k6Tg1M4a_CM6GD5nxEMSSStKsSewEDBRQA9UNkU5SEQwUFBEN0NVTEJFMFVGM040WEI5MC4u&Token=f11f4658d3f2400a8ff885b5806c1ac3

3.2.2. Cuestionario: Mecanismo de acción de sustancias psicoactivas.

Descripción de la actividad: El estudiante debe responder el cuestionario sobre los mecanismos de las sustancias psicoactivas presentes en el software Mouse Party.

Objetivos de la actividad: Identificar si los estudiantes reconocen cuáles son los tipos de mecanismos de acción que tiene una sustancia psicoactiva, dependiendo si es estimulando, depresora o alucinógena.

Criterio de evaluación: Este cuestionario se caracteriza por tener únicamente preguntas de selección múltiple, por lo que el criterio de evaluación está enfocado a la cantidad de respuestas correctas.

El cuestionario se desarrolló en Forms, por lo que su acceso y sus respuestas lo obtiene mediante el siguiente link:

https://forms.office.com/Pages/ResponsePage.aspx?id=nGREgiPT_k6Tg1M4a_CM6GD5nxEMSSStKsSewEDBRQA9UMIJSMTzTjFKTEpDNEtDNktUVlc2Nk1SUy4u

3.3. Módulo Bioinformática

En este módulo el estudiante va a fortalecer el uso de herramientas bioinformáticas con base a programas y bases de datos como PDB, PubChem, Avogadro, Chimera, PxBry y DruLiTo. De acuerdo con lo anterior, está conformado por cinco actividades.

3.3.1.PDB: Búsqueda de proteínas

Descripción de la actividad: La actividad consiste en seleccionar y descargar la proteína de mejor calidad según los parámetros establecidos.

Objetivos de la actividad: Reconocer si los estudiantes desarrollaron habilidades en el manejo de bases de datos.

Criterio de evaluación: En la tabla 6, se encuentran los criterios de evaluación para darle calificación a las dos preguntas propuestas en esta actividad.

Tabla 6.

Criterios de evaluación PDB

Criterios de evaluación	4WNT (0,28)	4WNO (0,28)	4XRY (0,28)	Valor de cada criterio
1. La proteína tiene ligandos	Si	Si	Si	0,83
2. Calidad del ligando	Buena calidad	Buena ó media calidad	Baja Calidad	0,83
3. Método de cristalización	X-RAY DIFFRACTI ON	X-RAY DIFFRACTION	X-RAY DIFFRACTI ON	0,83
4. Resolución	2,6	1,56	2,5	0,83
5. Argumento la selección de la proteína				0,83
Total				5

Fuente: Elaboración Propia

Por otra parte, en la tabla 7 se encuentran las categorías con las cuales se clasificó las respuestas a la pregunta: Teniendo en cuenta los parámetros de selección, argumente cuál es la proteína con mejor calidad. Donde el no apropiado corresponde a un 0,33 , el regular a 0,50 , el bueno a 0,66 y el excelente a 0,83.

Tabla 7.

Categorías pregunta abierta PDB

Categoría	Criterios
No apropiado	• Seleccione la proteína con peores parámetros de selección.
Regular	• Seleccione la proteína con una calidad media.
Bueno	• Seleccione la proteína con los parámetros de selección, pero no justifique la selección.
Excelente	• Seleccione la proteína con los parámetros de selección y justificó la selección.

Fuente: Elaboración Propia

3.3.2. PubChem y Avogadro: Búsqueda y optimización de los ligandos.

Descripción de la actividad: La actividad consta de descargar los ligandos serotonina, dopamina, norepinefrina y la sustancia psicoactiva de la base de datos PubChem y luego optimizarlos en Avogadro.

Objetivos de la actividad: Identificar si los estudiantes logran realizar la optimización de los ligandos.

Criterio de evaluación: En la tabla 8, se encuentran los criterios de evaluación para darle calificación a las dos preguntas propuestas en esta actividad.

Tabla 8.

Criterios de evaluación Pubchem y Avogadro

Criterios de evaluación	Valor de cada criterio
1. Descarga los ligandos	2,5
2. Realizó la optimización de los ligandos	2,5
Total	5

Fuente: Elaboración Propia

3.3.3. Chimera: Limpieza de la proteína

Descripción de la actividad: El estudiante debe limpiar la proteína que se seleccionó en la actividad de PDB, es decir, se debe eliminar las cadenas con peor sitio activo y las moléculas de agua.

Objetivos de la actividad: Distinguir si los estudiantes lograron desarrollar habilidades en el manejo del software Chimera.

Criterio de evaluación: En la tabla 9, se encuentran los criterios de evaluación para darle calificación a las tres preguntas propuestas en esta actividad.

Tabla 9.

Criterios de evaluación Chimera

Criterios de evaluación	Valor de cada criterio
1. Seleccionó y descargó la mejor proteína.	1,66
2. Eliminó las cadenas con peor calidad.	1,66
3. Eliminó las moléculas de agua.	1,66
Total	5

Fuente: Elaboración Propia

3.3.4. PxRy: Docking y conformación más estable.

Descripción de la actividad: El estudiante debe realizar el docking molecular entre la proteína seleccionada y limpia con los neurotransmisores dopamina, serotonina, norepinefrina y la sustancia psicoactiva.

Objetivos de la actividad: Identificar si los estudiantes a través del software PxRy comprenden la interacción proteína - ligando, a través de la interpretación de los valores de la energía de afinidad con el sitio activo de la proteína.

Criterio de evaluación: En la tabla 10, se encuentran los criterios de evaluación para darle calificación a las cuatro preguntas propuestas en esta actividad.

Tabla 10.

Criterios de evaluación PxRy

Criterios de evaluación	Valor de cada criterio
1. Subir los ligandos y proteínas.	1,25
2. Asignar Roles.	1,25
3. Docking.	1,25
4. Conclusión.	1,25
Total	5

Fuente: Elaboración Propia

Por otra parte, en la tabla 11 se encuentran las categorías con las cuales se clasificó las respuestas a la pregunta: Al realizar la actividad, debes analizar la afinidad y estabilidad de los ligandos con la proteína seleccionada. Resaltando que ocurre cuando la catinona se une al sitio activo de la proteína de la isoforma CYP2D6 seleccionada y porque comienzan sus efectos psicoactivos. Donde el no apropiado corresponde a un 0,50, el regular a 0,75 , el bueno a 1,0 y el excelente a 1,25.

Tabla 11.

Categorías pregunta abierta PxRy

Categoría	Criterios
No apropiado	● Menciona los valores de energía de afinidad para cada unión proteína (calidad mala)-ligando.
Regular	● Menciona los valores de energía de afinidad para cada unión proteína (calidad media)-ligando. ● Justifica la estabilidad de esa mejor conformación. ● Explica los efectos psicoactivos que tiene la unión de la catinona con la proteína.
Bueno	● Menciona los valores de energía de afinidad para cada unión proteína (calidad buena)-ligando. ● Justifica la estabilidad de esa mejor conformación. ● Explica los efectos psicoactivos que tiene la unión de la catinona con la proteína.
Excelente	● Menciona los valores de energía de afinidad para cada unión proteína (calidad buena)-ligando. ● Justifica la estabilidad de esa mejor conformación. ● Menciona el orden de unión del ligando al sitio activo de la proteína. ● Explica los efectos psicoactivos que tiene la unión de la catinona con la proteína.

Fuente: Elaboración Propia

3.3.5. DruLito: Potencial farmacológico.

Descripción de la actividad: Consta de calcular las propiedades y la Lipinski Rule de la sustancia psicoactiva que se está analizando.

Objetivos de la actividad: Identificar si los estudiantes comprenden la regla de Lipinski y si la sustancia psicoactiva cruza o no la barrera hematoencefálica del cerebro.

Criterio de evaluación: En la tabla 12, se encuentran los criterios de evaluación para darle calificación a las cuatro preguntas propuestas en esta actividad.

Tabla 12.

Criterios de evaluación DruLiTo

Criterios de evaluación	Valor de cada criterio
1. Subir catinona	1
2. Calcular propiedades	1
3. Aplicar regla Lipinski	1
4. Análisis I	1
Total	5

Fuente: Elaboración Propia

Por otra parte, en la tabla 13 se encuentran las categorías con las cuales se clasificó las respuestas a la pregunta: Al realizar la actividad, debes argumentar cómo y porqué la SPA atraviesa o no la barrera hematoencefálica (BHE), resaltando las propiedades de la BHE y la estructura de la sustancia. Donde el no apropiado corresponde a un 0,4, el regular a 0,6, el bueno a 0,8 y el excelente a 1,0.

Tabla 13.

Categorías pregunta abierta DruLiTo

Categoría	Criterios
No apropiado	No menciona las propiedades de la BHE, tampoco explica las propiedades de la catinona y solo justifica el paso a la BHE por la regla de Lipinski.
Regular	- Menciona las propiedades de la BHE. - Solo justifica el paso de la BHE. Teniendo en cuenta la regla de Lipinski y las propiedades de la BHE.
Bueno	- Menciona las propiedades de la BHE. - Explica la estructura de la SPA Catinona. - Justifica el paso de la BHE. Teniendo en cuenta la regla de Lipinski.
Excelente	- Menciona las propiedades de la BHE. - Explica la estructura de la SPA Catinona. - Justifica el paso de la BHE, teniendo en cuenta las propiedades de la BHE, la estructura de la catinona y los factores de la regla de Lipinski.

Fuente: Elaboración Propia

3.4. Módulo Cromatografía

En este módulo el estudiante va a comprender conceptos básicos sobre cromatografía de gases mediante el caso forense de Mr. Khat. De acuerdo con lo anterior, está conformado por cuatro actividades claves para identificar los conocimientos y habilidades adquiridos en la técnica cromatográfica.

3.4.1. Actividad interactiva: Conceptos básicos de cromatografía.

Descripción de la actividad: La actividad consiste en seleccionar la pareja de cada uno de los conceptos mencionados.

Objetivos de la actividad: Relacionar conceptos básicos de cromatografía con su respectiva descripción.

Criterio de evaluación: Las actividades de cromatografía, están en la plataforma donde se desarrolló el MOOC, por lo que la evaluación es automatizada según las respuestas correctas.

3.4.2. Actividad interactiva: Partes del cromatógrafo.

Descripción de la actividad: La actividad consta de relacionar una función del cromatógrafo con la imagen de la parte que la emplea.

Objetivos de la actividad: Reconocer e identificar las partes de un cromatógrafo de gases y su función.

Criterio de evaluación: Las actividades de cromatografía, están en la plataforma donde se desarrolló el MOOC, por lo que la evaluación es automatizada según las respuestas correctas.

3.4.3. Actividad interactiva: Selección de una columna cromatográfica.

Descripción de la actividad: La actividad se basa en realizar una relación de columnas o asociar una pareja a un respectivo concepto asociado a la selección de una columna cromatográfica.

Objetivos de la actividad: Relacionar conceptos claves para la selección de una columna cromatográfica.

Criterio de evaluación: Las actividades de cromatografía, están en la plataforma donde se desarrolló el MOOC, por lo que la evaluación es automatizada según las respuestas correctas.

3.4.4. Cuestionario: Tipos de detectores.

Objetivos de la actividad: Identificar los tipos de detectores que se deben usar según la necesidad analítica.

Criterio de evaluación: El cuestionario de detectores cuenta con seis preguntas, de las cuales dos son abiertas, donde cada pregunta tiene el valor de 0,83 para completar una sumatoria de 5. En la primera pregunta abierta el estudiante debe mencionar cuales son las diferencias entre el detector de ionización de llama y el detector fósforo y nitrógeno. Por lo que se establecen las siguientes categorías para clasificar las diferentes respuestas. Donde el no apropiado corresponde a un 0,33, el regular a 0,50 , el bueno a 0,66 y el excelente a 0,83.

Tabla 14
Categorías del cuestionario sobre el tipo de detectores

Categoría	Criterios
No apropiado	● No identifica la diferencia entre los 2 detectores. ● No reconoce el principio de funcionamiento.
Regular	● Presenta errores conceptuales. ● Reconoce la diferencia entre los detectores. ● El principio de funcionamiento presenta algunos errores. ● Solo menciona las aplicaciones.

Bueno	● Identifica la diferencia entre los detectores con base en las partes de cada detector. ● Menciona la generación de la llama y la importancia de la misma. ● Establece un principio básico de funcionamiento.
Excelente	● Establece la diferencia con base en la selectividad de compuestos de cada detector. ● Menciona el principio de funcionamiento de manera correcta. ● Nombra algunos compuestos que se podrían identificar con los detectores.

Fuente: Elaboración Propia

Agregando a lo anterior, hay otra pregunta donde el estudiante debe ayudar al analista con qué tipo de detector puede trabajar y ¿por qué? Teniendo en cuenta que la muestra es desconocida. Por lo que se establecen las siguientes categorías para clasificar las diferentes respuestas.

Tabla 15
Categorías del cuestionario sobre el tipo de detectores

Categoría	Criterios
No apropiado	● Selecciona el detector incorrecto y no argumenta las razones.
Regular	● Selecciona el detector adecuado, pero no menciona las razones. ● Selecciona el detector ejemplificando la composición de la muestra desconocida.
Bueno	● Selecciona el detector correcto y explica ¿por qué?. ● Identifica que la muestra es desconocida. ● Menciona un principio básico del funcionamiento del detector seleccionado
Excelente	● Explica las razones por las cuales se debe utilizar este detector. ● Menciona porque los otros detectores no son aptos. ● Se aproxima al funcionamiento del detector. ● Establece cómo se realizaría la cuantificación.

Fuente: Elaboración Propia

3.5. Módulo Desarrollo del método

En este módulo el estudiante va analizar las causas y consecuencias de la muerte misteriosa de Mr. Khat, a través de una aproximación a la validación del método analítico y el uso de herramientas bioinformáticas para confirmar su sobredosis. De acuerdo con lo anterior, está conformado por una actividad final que reúne todas las temáticas abordadas en MOOC para llegar a una conclusión sobre la muerte de Mr.Khat.

3.5.1. Actividad Final: ¿Que mató a Mr. Khat?

Descripción de la actividad: La actividad final consiste en tres puntos, donde principalmente el estudiante debe analizar dos cromatogramas para identificar qué sustancia psicoactiva mató a Mr.Khat mediante los tiempos de retención. Posteriormente usted debe usar PXRy y DruLito para identificar si la sustancia psicoactiva atraviesa la barrera hematoencefálica del cerebro y cómo es su interacción con el sitio activo de la proteína con respecto a los neurotransmisores. Finalmente se debe realizar una conclusión de todo lo evidenciado respondiendo y articulando cual es el mecanismo de acción de la SPA.

Objetivos de la actividad: Identificar si en los estudiantes hubo un aprendizaje autónomo y efectivo de conceptos relacionados a cromatografía de gases, sustancias psicoactivas y bioinformática.

Criterio de evaluación: En las siguientes tablas, se encuentran los criterios de evaluación para darle calificación a las cinco preguntas propuestas en esta actividad; la suma de las cinco preguntas genera la respectiva calificación.

Tabla 16

Criterios de evaluación Pregunta 1

Criterios de evaluación I. Cromatogramas	Valor de cada criterio
1. Relaciona los tiempos de retención de la muestra problema y el MIX para identificar la sustancia psicoactiva que mató Mr..Khat.	0,5
2. Seleccionó la Metilona como la sustancia psicoactiva que mató a Mr.Khat.	0,5
Total	1

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 17*Criterios de evaluación Pregunta 2*

Criterios de evaluación II. Bioinformática	Valor de cada criterio
1. Realizó búsqueda en PDB (proteína de mejor calidad)	0,2
2. Realizó bioinformática Chimera	0,2
3. Realizó búsqueda en PubChem y Avogadro	0,2
4. Realizó Bioinformática en PyRx	0,2
5. Realizó Bioinformática en Drulito	0,2
Total	1

Fuente: Elaboración Propia

Teniendo en cuenta la tabla anterior, se evidencia que cada ítem tiene su respectivo criterio de evaluación:

Tabla 18*Criterios de evaluación PDB*

Criterios de evaluación PDB	4WNU (0,013)	4XRY (0,013)	4WNW (0,013)	Valor de cada criterio
1. La proteína tiene ligandos	Si	Si	Si	0,04
2. Calidad del ligando	buena calidad	media calidad	baja calidad	0,04
3. Método de cristalización	X-RAY DIFFRACTION	X-RAY DIFFRACTION	X-RAY DIFFRACTION	0,04
4. Resolución	2,26	2,50	3,30	0,04
5. R.Libre	0,232	0,251	0,287	0,04
Total				0,2

Fuente: Elaboración Propia**Tabla 19**

Criterios de evaluación Chimera

Criterios de evaluación Chimera	Valor de cada criterio
1. Selecciono y descargo la mejor proteína	0,07
2. Eliminó las cadenas con peor calidad	0,07
3. Eliminó las moléculas de agua	0,07
Total	0,2

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 20

Criterios de evaluación Pubchem y Avogadro

Criterios de evaluación Avogadro y Pubchem	Valor de cada criterio
1. Descargo los ligandos.	0,1
2. Realizó la optimización de los ligandos.	0,1
Total	0,2

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 21

Criterios de evaluación PxRy

Criterios de evaluación PyRx	Valor de cada criterio
1. Subir los ligandos y proteínas	0,07
2. Asignar Roles	0,07
1. Subir los ligandos y proteínas	0,07
Total	0,2

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 22

Criterios de evaluación DruLiTo

Criterios de evaluación DruLito	Valor de cada criterio
1. Subir catinona	0,07
2. Calcular propiedades	0,07

3. Aplicar regla Lipinski	0,07
Total	0,2

Fuente: Elaboración Propia

Pasando a la pregunta número 3, encontramos la tabla 21.

Tabla 23

Criterios de evaluación Pregunta 3

Criterios de evaluación II. Análisis I	Valor de cada criterio
1. Describe de manera correcta el orden y el proceso de unión entre los ligandos y la proteína.	1
Total	1

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 24

Criterios de evaluación Pregunta 4

Criterios de evaluación II. Análisis II	Valor de cada criterio
1. Argumenta el paso de la sustancia psicoactiva por la barrera hematoencefálica teniendo en cuenta la regla de Lipinski	1
Total	1

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 25.

Criterios de evaluación Pregunta 5

Criterios de evaluación III. Conclusión	Valor de cada criterio
1. Explica cómo identificó la SPA que mató a Mr. Khat	1
Total	1

Fuente: Elaboración Propia

Aquí finaliza las actividades que son evaluadas. ¡Gran trabajo!

Recuerde que, si desea ver cada una de las preguntas de las actividades, debe ingresar al módulo llamado recurso docente.

3.6. Módulo retroalimentación

En este módulo el estudiante va encontrar la retroalimentación que tiene como objetivo dar a conocer el resultado de la actividad final y la investigación de todo el caso forense.

3.7. Módulo créditos

En este módulo el estudiante va a encontrar los créditos del respectivo curso.

3.8. Recomendaciones para el docente

Recuerde que todos los módulos tienen una selección llamada foro de dudas, donde tendrá que estar respondiendo constantemente a las necesidades de los estudiantes. Gracias, por preferir el MOOC para el aprendizaje de la cromatografía de gases.