



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**HERRAMIENTAS DIDÁCTICAS PARA LA ENSEÑANZA DE LA  
FISICOQUÍMICA CON UN ENFOQUE AMBIENTAL**

**TESIS**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTA**

**Cuahtémoc Teódulo Ordoñez Martínez**



**CDMX**

**2023**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE: Milton Thadeu García Medeiros de Oliveira**

**VOCAL: Claudia Inés Rivera Cárdenas**

**SECRETARIO: Erik Beristain Montiel**

**1er. SUPLENTE: Adriana Karen Tapia González**

**2° SUPLENTE: Mario Alberto Alanís García**

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**

**LABORATORIO 205, EDIFICIO F. FACULTAD DE QUÍMICA. CIUDAD  
UNIVERSITARIA**

**ASESOR DEL TEMA:**

**Dr. Erik Beristain Montiel \_\_\_\_\_ - \_\_\_\_\_**

**SUSTENTANTE (S):**

**Cuauhtémoc Teódulo Ordoñez Martínez \_\_\_\_\_ - \_\_\_\_\_**

## Índice de contenido

<b>1. Introducción .....</b>	<b>5</b>
<b>2. Planteamiento del problema .....</b>	<b>6</b>
<b>3. Objetivos.....</b>	<b>8</b>
3.1 Objetivo general.....	8
3.2 Objetivos particulares .....	8
<b>4. Marco Teórico.....</b>	<b>9</b>
<b>4.1 Aprendizaje activo .....</b>	<b>10</b>
4.1.1 Técnicas de aprendizaje activo .....	12
4.1.2 Aprendizaje Colaborativo .....	16
<b>4.2 La taxonomía de Bloom.....</b>	<b>18</b>
<b>4.3 El eje ambiental en la enseñanza de fisicoquímica .....</b>	<b>20</b>
<b>4.4 Las leyes empíricas de los gases .....</b>	<b>23</b>
<b>4.5 La temperatura y el calor.....</b>	<b>25</b>
<b>4.6 La Entropía .....</b>	<b>26</b>
<b>4.7 Temas selectos de química ambiental .....</b>	<b>27</b>
4.7.1 Contaminación del suelo con sustancias volátiles .....	28
4.7.2 Gases de efecto invernadero y calentamiento global .....	28
4.7.3 Interacción entre diferentes ambientes .....	30
<b>5. Metodología.....</b>	<b>32</b>
<b>5.1 Desarrollo de experimentos de laboratorio.....</b>	<b>32</b>
5.1.1 Leyes empíricas de los gases y la contaminación del suelo con una sustancia volátil ..	32
5.1.2 Temperatura, calor, los gases de efecto invernadero y el calentamiento global .....	34
5.1.3 Entropía como dispersor de energía .....	36
<b>5.2 Aplicación del aprendizaje activo a un grupo piloto .....</b>	<b>37</b>
5.3 Evaluación del aprendizaje.....	39
5.3.1 Cuestionarios de aprendizaje .....	39
5.3.2 Solicitud de los informes de la experimentación .....	39
<b>6. Resultados y discusión .....</b>	<b>40</b>

6.1 Leyes empíricas de los gases y su relación con la contaminación del suelo con sustancias volátiles .....	40
6.2 Relación de la temperatura y el calor con el calentamiento global y el efecto invernadero .....	42
6.3 Relación entre la entropía y la interacción entre ambientes.....	45
6.4 Evaluación del aprendizaje .....	48
<b>7. Conclusiones.....</b>	<b>52</b>
<b>8. Referencias.....</b>	<b>53</b>
<b>Anexo I. Protocolos de prácticas de laboratorio .....</b>	<b>57</b>
<b>Anexo II. Cuestionarios de evaluación del aprendizaje .....</b>	<b>70</b>
<b>Anexo III. Rúbrica de evaluación .....</b>	<b>72</b>

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Esquema del planteamiento del problema .....	7
<b>Figura 2.</b> Componentes del aprendizaje colaborativo.....	18
<b>Figura 3.</b> Cuadro Sinóptico que explica la 1er propuesta de la Taxonomía de Marzano-Bloom .....	19
<b>Figura 4.</b> Niveles de aprendizaje con la taxonomía de Bloom .....	20
<b>Figura 5.</b> Vinculación de la Termodinámica clásica con la química ambiental usando casos de estudio .....	23
<b>Figura 6.</b> Esquema del procedimiento experimental para la verificación de las leyes empíricas de los gases a través de la evaporación de una sustancia volátil adsorbida en arena .....	33
<b>Figura 7.</b> Montaje experimental para la medición de los cambios de temperatura de distintos gases bajo una misma fuente de radiación calorífica.....	35
<b>Figura 8.</b> Arreglo experimental para la determinación del cambio de entropía en la interacción se sistemas acuosos y sólidos aislados.....	36
<b>Figura 9.</b> Gráficas P(T), V(T) y P(V) promedio (n = 3) del experimento de las leyes empíricas de los gases de un líquido volátil .....	40
<b>Figura 10. Izquierda:</b> Comportamiento de la diferencia de temperatura de diferentes gases durante el experimento. <b>Derecha:</b> Calor absorbido por diferentes gases en función del cambio de temperatura.....	43
<b>Figura 11.</b> Cambio de entropía a través del tiempo (naranja) para la transferencia de calor de agua a arena y su variación de la temperatura en función del tiempo (azul) .....	45

<b>Figura 12.</b> Evaluación global del aprendizaje para cada uno de los experimentos probados ante un grupo piloto.....	48
<b>Figura 13.</b> Comparativa no paramétrica de las calificaciones globales de los estudiantes en el taller de fisicoquímica con un enfoque ambiental.....	49
<b>Figura 14.</b> Comparativa no paramétrica de las calificaciones por tópicos (fq - fisicoquímica y amb- ambiental) de los estudiantes en el taller de fisicoquímica con un enfoque ambiental.....	50

### Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Capacidades térmicas específicas de algunos gases en el intervalo de 200 a 400 K.....	35
<b>Tabla 2.</b> Preguntas de la estrategia didáctica Pensar, relacionarse y compartir aplicadas a los experimentos de la presente tesis .....	38
<b>Tabla 3.</b> Coeficientes de variación en la medición de temperatura, presión fluidoestática y volumen de vapor de un líquido volátil en experimentos de las leyes empíricas de los gases.....	41
<b>Tabla 4.</b> Preguntas de introducción de la relación de las leyes empíricas de los gases con la contaminación con sustancias volátiles.....	42
<b>Tabla 5.</b> Preguntas sobre la vinculación de los conceptos de calor, temperatura y capacidad térmica con los tópicos de química ambiental sobre el efecto invernadero y el calentamiento global.....	44
<b>Tabla 6.</b> Preguntas sobre la vinculación del concepto de entropía y la interacción entre ecosistemas .....	47

## 1. Introducción

La enseñanza de la fisicoquímica se ha enfocado en mejorar el aprendizaje de los estudiantes mediante el desarrollo de habilidades para aplicar conceptos a situaciones de la vida real donde la interacción materia, energía y ambiente siempre están presentes. Desde los años 1970s, los instructores de fisicoquímica han empleado ejemplos del mundo real para motivar a los estudiantes. En particular las conexiones con las crisis ecológicas han sido vistas como oportunidades no solo para resaltar la relevancia de la fisicoquímica sino para comprometer a los estudiantes a investigar un problema que impacta su vida diaria y su futuro.

Actualmente, el desarrollo interdisciplinario es la norma y no la excepción en cursos universitarios y de esta manera la noción de los cursos de fisicoquímica se ha ampliado. A pesar de este hecho, el número de ejemplos relevantes de fisicoquímica ambiental en los programas de carreras científicas es limitado por lo que se sigue reforzando y generando nuevos métodos pedagógicos y estrategias para la resolución de problemas, garantizando la calidad e integridad de la educación superior (UNESCO, 2021).

Aprovechando el desarrollo de técnicas modernas de aprendizaje basadas en la corriente del constructivismo, el presente trabajo incorpora técnicas de aprendizaje activo para la enseñanza de algunos conceptos del curso de termodinámica clásica y su vinculación con tópicos actuales de química ambiental, mediante la propuesta de algunos experimentos para el laboratorio de termodinámica.

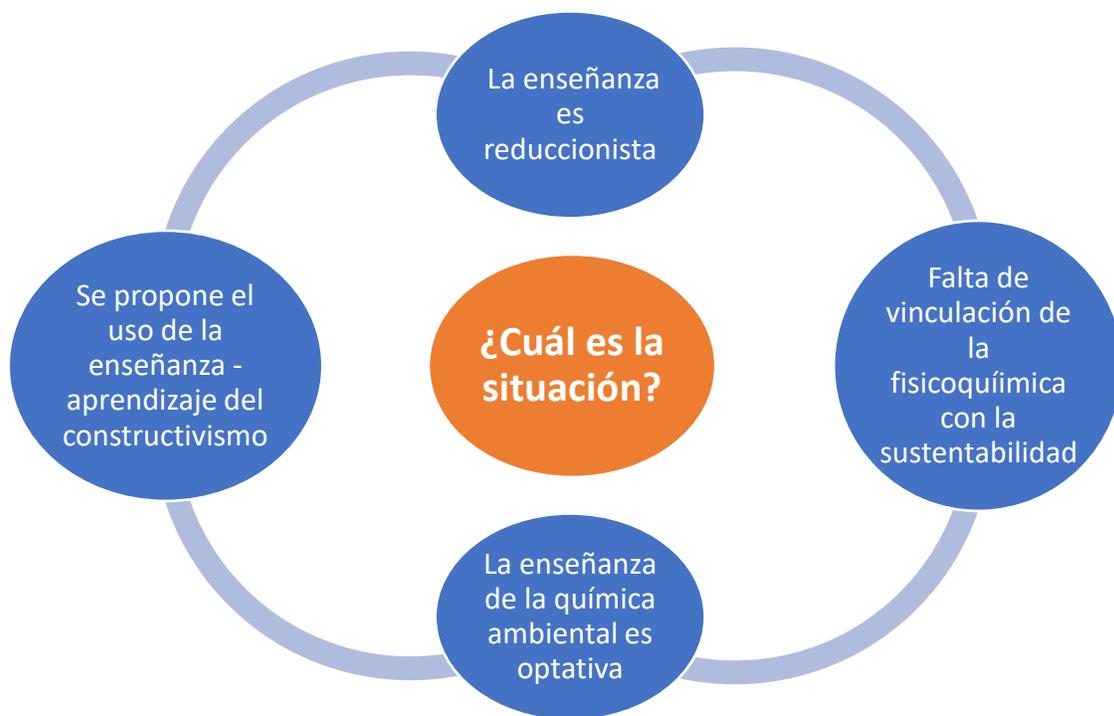
De esta manera, se abordan experimentalmente algunos problemas relevantes en la actualidad como el calentamiento global y la contaminación con conceptos de termodinámica clásica como el calor, la temperatura y la entropía. Se incorporan, además, elementos de apoyo a la enseñanza como el aprendizaje colaborativo y la continua evaluación de este, de acuerdo con la taxonomía de Bloom.

## 2. Planteamiento del problema

Debido a la complejidad de los conceptos de fisicoquímica, la enseñanza de esta ciencia se ha abordado históricamente desde un punto de vista reduccionista que explica las leyes y propiedades de los sistemas desde la perspectiva más simple posible. La reducción facilita el establecimiento de un nexo racional entre las distintas proposiciones de un modelo determinado que tiene un alto grado de dificultad. Sin embargo, se ha considerado que el aprendizaje por competencias como una versión del reduccionismo, ignora e incluso obvia la complejidad de los tópicos, lo cual resulta contraproducente en materia de educación, ya que el reduccionismo asume la existencia de una sola y única metodología que da solución a los problemas de enseñanza – aprendizaje.

Adicionalmente, el eje de sustentabilidad es una prioridad en los planes de trabajo de la Facultad de Química y de la Universidad que ha sido rezagado como parte del proceso de enseñanza – aprendizaje y que se ha abordado como un tópico separado de la enseñanza de las ciencias e incluso como optativo curricularmente en las distintas carreras del área de la química.

Aprovechando que la enseñanza de la fisicoquímica es obligatoria para todas las carreras de la Facultad de Química de la UNAM, el presente trabajo propone establecer vínculos entre algunos tópicos de termodinámica clásica y la química ambiental, empleando herramientas didácticas del método constructivista del aprendizaje activo para la mejora de la enseñanza, mayor comprensión de conceptos e incremento del interés de los estudiantes por los problemas ambientales. Un resumen de este planteamiento se muestra en la Figura 1.



**Figura 1.** Esquema del planteamiento del problema

### **3. Objetivos**

#### ***3.1 Objetivo general***

- Aplicar una estrategia centrada en las metodologías del aprendizaje activo-colaborativo para vincular la enseñanza de la termodinámica clásica (leyes empíricas de los gases, temperatura, calor y entropía) con los tópicos de química ambiental (contaminación, dispersión de contaminantes, gases de efecto invernadero, calentamiento global y dispersión de la energía) con relación al programa de la asignatura de Termodinámica (clave 1212) en la Facultad de Química.

#### ***3.2 Objetivos particulares***

- Proponer tres experimentos de laboratorio que vinculen conceptos de termodinámica incluidos en el programa de las asignaturas de termodinámica (clave 1212) con la química ambiental (clave 0033).
- Determinar la repetibilidad y reproducibilidad de los experimentos propuestos y probarlos ante un grupo piloto empleando el método de aprendizaje activo – colaborativo.
- Evaluar el aprendizaje y desempeño de los estudiantes del grupo piloto como parámetro de la aplicabilidad de los experimentos propuestos.

## 4. Marco Teórico

La Facultad de Química de la UNAM es una de las unidades académicas más antiguas de la Universidad Nacional Autónoma de México y ha experimentado varios cambios en su plan de estudios a lo largo del tiempo. Uno de los retos más importantes que presenta es la innovación de la enseñanza, adaptando las nuevas tecnologías y métodos para la mejora del aprendizaje. En este proceso de innovación se deben vincular diferentes disciplinas que impacten en el desarrollo de profesionales de la química con habilidades para proponer soluciones a los retos que se presentan en la actualidad (Garriz-Ruiz & Mateos-Gómez, 2015).

Para abordar los cambios en la enseñanza es necesario actualizar los métodos de enseñanza reduccionista tradicional a otros que mejoren la adaptación del aprendizaje de nuevas generaciones de estudiantes (Acosta, 2018). A este respecto, en la enseñanza de la fisicoquímica también deben incluirse las estrategias de mejora, más aún cuando forma parte del currículo obligatorio para todas las carreras impartidas en la Facultad de Química de la UNAM a través de las asignaturas de Termodinámica (clave 1212) y Equilibrio y Cinética (clave 1308).

Por otra parte, la sostenibilidad es un eje prioritario en los planes de desarrollo de la Facultad de Química y de la UNAM (UPTC Consejo Superior Consejo Académico y Decanos, 2015). De esta manera, la incorporación de los temas relacionados con la química ambiental debería abordarse de una manera más recurrente, sin ser únicamente opcional y no debería de cursarse solamente hasta los últimos semestres de las carreras de química e ingeniería química. De esta manera, se propuso afrontar la enseñanza de la fisicoquímica vinculándola con temas centrales de la química ambiental, mediante la relación de conceptos de termodinámica clásica y ambientales, aprovechando que se imparte en el tronco común de las licenciaturas en la Facultad de Química, maximizando el impacto de nuevas estrategias de enseñanza – aprendizaje de la corriente constructivista.

#### **4.1 Aprendizaje activo**

El aprendizaje es un proceso para la adquisición de conocimiento que envuelve el dominio de principios abstractos, el entendimiento de pruebas, recordar información factual, adquirir métodos, técnicas y aproximaciones, razonamiento, debate de ideas y desarrollar el comportamiento apropiado de situaciones específicas. A pesar del amplio desarrollo en la investigación sobre el aprendizaje activo, no hay una herramienta única para transmitir el conocimiento o aprender, ya que la disciplina, el alumno, la sociedad y el material de enseñanza tienen influencias muy diversas sobre la transmisión y adquisición del conocimiento.

Existen diversas escuelas de pensamiento sobre cómo el aprendizaje activo toma lugar. El *racionalismo* o *idealismo*, por ejemplo, se basa en la idea de un plan biológico que se desarrolla en muy determinadas circunstancias. El *asociacionismo* se centra en la idea de formar relaciones entre estímulos y respuestas. Mientras que en el siglo veintiuno las teorías cognitivas y sociales son las más ampliamente usadas, siendo el *constructivismo* el más conocido.

El *constructivismo* se basa en la noción de construir continuamente y relacionar estructuras en la mente que mantienen al conocimiento. Estas estructuras son conocidas como *esquemas*. De acuerdo con nuevos entendimientos, experiencias, acciones y cómo la información es asimilada y acomodada, los esquemas cambian. Si los esquemas no cambian, el aprendizaje no ocurre. De esta manera, el aprendizaje envuelve dominios cognitivos, afectivos, interpersonales y psicomotrices que ciñen el proceso individual de transformación y de esta manera las personas activamente construyen su conocimiento. El constructivismo también nos dice que el aprendizaje encaja en el nuevo aprendizaje extendiendo y suplantando al viejo conocimiento. De esta manera, se refuerza la idea de que, sin cambios o adiciones al esquema (conocimiento preexistente), el aprendizaje no ocurrirá (Fry et al., 2009).

Uno de los componentes del constructivismo es el *aprendizaje activo* que implica que los estudiantes sean involucrados en su propio aprendizaje. Las estrategias de enseñanza activa fomentan que los estudiantes hagan algo en lugar de solo tomar

notas o seguir instrucciones, participar en actividades que construyan nuevos conocimiento y nuevas habilidades. Las actividades incluyen discusiones en clase en oposición a pasivamente escuchar a un experto y enfatizar el alto orden de pensamiento que se envuelve en el trabajo de grupo, por lo que el componente social es fundamental en este tipo de aprendizaje (Brame, 2022).

La evidencia de que el aprendizaje activo ayuda a los estudiantes a aprender más efectivamente que las aproximaciones por transmisión en la que los instructores confían en “enseñar mediante decir” es robusta y se remonta a más de treinta años (Bonwell & Eison, 1991). Un ejemplo fue desarrollado por Freeman y colegas (Freeman et al., 2014) quienes condujeron un análisis de 225 estudiantes, comparando constructivismo en oposición a exposiciones centradas en el profesor. Los autores encontraron que bajo cursos tradicionales los estudiantes fueron 1.5 veces más propensos a fallar que los estudiantes con aprendizaje activo. Además, hallaron que, en promedio, con el aprendizaje activo el desempeño de los estudiantes en exámenes se incrementó a la mitad de la desviación estándar con respecto a las calificaciones de un curso convencional. Estos resultados fueron consistentes entre disciplinas ya que no hubo diferencias significativas en el aprendizaje activo en cursos de biología, química, ciencias computacionales, ingeniería, geología, matemáticas, física y psicología.

Además de la evidencia de que los enfoques de aprendizaje activo promueven el aprendizaje de todos los estudiantes, existe cierta evidencia de que los enfoques de aprendizaje activo son una herramienta eficaz para hacer que las aulas sean más inclusivas. Wieman y sus colegas (Wieman, 2014) examinaron los efectos del aprendizaje activo para los estudiantes del Programa de Oportunidades Educativas (EOP) de la Universidad de Washington, Estados Unidos, que estaban inscritos en un curso de introducción a la biología. Los estudiantes en el EOP tienen desventajas educativas o económicas, generalmente son los primeros en sus familias en asistir a la universidad e incluyen a la mayoría de los estudiantes minoritarios subrepresentados en la Universidad de Washington.

El trabajo anterior demostró que los investigadores podían predecir las calificaciones de los estudiantes en el curso de introducción a la biología en función de su puntuación preuniversitaria y la puntuación verbal en pruebas psicométricas; los estudiantes en el EOP tuvieron una tasa de reprobación promedio de ~22 % en comparación con una tasa de reprobación promedio de ~10 % para los estudiantes que no estaban en el EOP. Cuando se incorporaron múltiples enfoques altamente estructurados para promover el aprendizaje activo en el curso de introducción a la biología, todos los estudiantes del curso se beneficiaron, pero los estudiantes del EOP demostraron un beneficio desproporcionado, reduciendo la brecha de rendimiento a casi la mitad del nivel inicial. Dada la necesidad apremiante de hacer que las aulas universitarias sean espacios más atractivos y productivos para estudiantes de todos los orígenes, estos resultados brindan otra razón convincente para incorporar enfoques de aprendizaje activo en el diseño de un curso. Por lo anterior, se ha concluido que el aprendizaje activo mejora el rendimiento de los estudiantes en exámenes y pruebas de conceptos, reduce las tasas de fracaso y abandono, y mejora la retención del conocimiento a largo plazo beneficiando a todos los estudiantes, pero principalmente a mujeres y alumnos de grupos minoritarios mejorando la calidad de la educación.

#### ***4.1.1 Técnicas de aprendizaje activo***

Podemos asumir que el aprendizaje activo es un conjunto de estrategias pedagógicas aplicada a la enseñanza, estrategias que incluyen la indagación guiada, el aprendizaje basado en problemas, el aprendizaje basado en casos, procedimiento de pausa, practica de recuperación, demostraciones, instrucciones entre pares con pruebas conceptuales, artículos por minuto y pensar, relacionarse y compartir, entre otras estrategias que se podrían aplicar.

El *procedimiento de pausa* consiste en hacer una pausa de dos minutos cada 12 a 18 minutos, alentando a los estudiantes a discutir y reelaborar notas en parejas. Este enfoque alienta a los estudiantes a considerar su comprensión del material de lectura, incluida su organización. También brinda la oportunidad de hacer preguntas

y aclaraciones y se ha demostrado que aumenta significativamente el aprendizaje en comparación con las conferencias sin pausas.

En la *práctica de recuperación* se hace una pausa de dos o tres minutos cada 15 minutos, haciendo que los estudiantes escriban todo lo que puedan recordar del segmento de clase anterior y se fomentan las preguntas. Este enfoque incita a los estudiantes a recuperar información de la memoria, lo que mejora la memoria a largo plazo, la capacidad de aprender material posterior y la capacidad de traducir información a nuevos dominios.

Por otro lado, la técnica de las *demonstraciones* solicita a los estudiantes que predigan el resultado de una demostración, discutiendo brevemente con un vecino. Después de la demostración, se pide que discutan el resultado observado y cómo puede haber diferido de su predicción y se procede a la explicación por parte del instructor. Este enfoque les pide a los estudiantes que prueben su comprensión de un sistema al predecir un resultado. Si su predicción es incorrecta, les ayuda a ver el concepto erróneo y, por lo tanto, los impulsa a reestructurar su modelo mental (esquema).

En la técnica de *pensar, relacionarse y compartir* se hace una pregunta a los estudiantes que requiera un pensamiento de orden superior (por ejemplo, niveles de aplicación, análisis o evaluación dentro de la taxonomía de Bloom). Se pide a los estudiantes que piensen o escriban sobre una respuesta durante un minuto, y que se dirijan a un compañero para discutir sus respuestas durante dos minutos. Posteriormente se solicita a los grupos que compartan las respuestas para terminar con la explicación del instructor. Al pedirles a los estudiantes que expliquen su respuesta a un vecino y que consideren críticamente las respuestas de su vecino, este enfoque ayuda a los estudiantes a articular conexiones mentales recién formadas (Salvo-Garrido et al., 2022).

Otra técnica es la *instrucción entre pares con pruebas conceptuales* que es una modificación de la de pensar, relacionar y compartir que involucra dispositivos de respuesta personal. En esta técnica se plantea una pregunta de opción múltiple con

base conceptual, se pide a los estudiantes que piensen en su respuesta y voten por una respuesta antes de hablar con un vecino. Se anima a los estudiantes a cambiar sus respuestas después de la discusión. En caso de que cuente con el desarrollo tecnológico adecuado, se comparten los resultados de la clase revelando un gráfico de las respuestas de los estudiantes. Este gráfico sirve como estímulo para la discusión en clase. Este enfoque está particularmente bien adaptado para clases grandes y se puede facilitar con una variedad de herramientas (por ejemplo, Poll Everywhere, TopHat, TurningPoint).

Otra técnica es la de *artículos por minuto* es la que se hace a los estudiantes una pregunta que requiera que reflexionen sobre su aprendizaje o participen en un pensamiento crítico. Se les solicita que escriban durante un minuto y que compartan sus respuestas para estimular el debate y recopilar todas las respuestas para informar a futuras sesiones de clase. Al igual que el enfoque de pensar, relacionarse y compartir, este enfoque alienta a los estudiantes a articular y examinar las conexiones recién formadas (Donnelly & Hernández, 2018).

En la estrategia *Indagación guiada* implica guiar a los estudiantes a través de un proceso de descubrimiento en el que se les presenta una pregunta o problema y se les proporciona orientación para investigar y encontrar una solución. Los estudiantes trabajan en grupos para discutir y resolver el problema, y el profesor actúa como facilitador y guía.

En el *Aprendizaje basado en problemas* (ABP), los estudiantes trabajan en problemas complejos y auténticos que requieren la aplicación de conocimientos y habilidades para resolver. Los estudiantes trabajan en grupos para discutir y resolver el problema, y el profesor actúa como facilitador y guía, de modo que los alumnos perciben de manera directa su propio proceso de aprendizaje siendo conscientes de los avances, dificultades y conceptos necesarios para concretar su aprendizaje autónomo y grupal guiado por el docente.

Para el *Aprendizaje basado en proyectos* se trabaja en proyectos a largo plazo que implican la investigación, el diseño y la implementación de soluciones a problemas

complejos. Los estudiantes trabajan en grupos para desarrollar y presentar su proyecto, y el profesor actúa como facilitador y guía.

Con el *Aprendizaje basado en casos* se analizan y presentan casos de estudio que implican la aplicación de conocimientos y habilidades para resolver problemas del mundo real. Los estudiantes trabajan en grupos para discutir y resolver el caso, y el profesor actúa como facilitador y guía.

La *Enseñanza justo a tiempo* les brinda a los estudiantes la información y el apoyo que necesitan en el momento en que lo necesitan. El profesor proporciona recursos y orientación para ayudar a los estudiantes a resolver problemas y completar tareas en tiempo real. Cada una de estas estrategias tiene como objetivo fomentar el aprendizaje activo y el pensamiento crítico en los estudiantes de fisicoquímica (Selco, 2018).

El *Aula Invertida* o aula inversa, es un modelo pedagógico que invierte los métodos de enseñanza tradicionales, impartiendo la instrucción directa fuera de la clase (lo que se denomina “espacio individual”), mientras que durante la clase (denominado “espacio grupal”) el docente se dedica a guiar al estudiante en la resolución de problemas y la aplicación del contenido de aprendizaje (Camió, 2019). Fue propuesto por primera vez en el año 2000 por Lage et al (2000) como un entorno de aprendizaje que tiene por objetivo involucrar a los estudiantes en el aprendizaje activo y en su propio desarrollo (Arellano-Becerril & Escudero-Nahón, 2022) por lo que se suele combinar con el aprendizaje colaborativo.

El *Seminario Alemán* consiste en una sesión donde se discuten los temas relevantes en forma de exposición y por equipos donde algunos miembros tienen responsabilidades asignadas que ejecutan una función de acuerdo con lo siguiente (Armando & Tapie, 2020):

- Director: es la persona que tiene más dominio sobre el tema del cual se está debatiendo, con su intervención encamina la discusión hacia la síntesis de todas las ideas que se han aportado hasta el momento. En esta oportunidad podría

ser un estudiante que demuestre dichas capacidades de conocimientos, no obstante, el papel también puede ser asumido por el docente en calidad de tutor.

- **Relatores:** este papel es llevado a cabo por dos integrantes del equipo, su función se remite a exponer los resultados del análisis de la situación problema con base en los fundamentos teóricos en cuestión y las disciplinas que se vieron envueltas. El momento de exposición no superara los 15 minutos.
- **Correlator:** lo asume un estudiante, su función principal es complementar con información clave la exposición de sus compañeros relatores, puede ayudarse de datos y bibliografía previamente verificada. Para esta presentación tiene 10 minutos.
- **Protocolante:** están a cargo dos participantes, su función es registrar todos los aportes, ideas, conclusiones, recomendaciones, argumentos en contra, propuestas, preguntas que sirvan de insumo para que los protocolantes puedan construir una síntesis nutrida de todo lo que ha dicho en la exposición.
- **Moderador:** es elegido entre la audiencia, su función es la de coordinar la sesión de trabajo, otorgar la palabra y controlar los tiempos de exposición para cada uno de los estudiantes.
- **Auditorio o participantes:** serán todos aquellos que no hagan parte del equipo expositor, el auditorio también puede participar con ideas, argumentos, preguntas y demás a los alumnos que hacen el papel de relatores.

#### **4.1.2 Aprendizaje Colaborativo**

El aprendizaje colaborativo juega un papel fundamental en la propuesta de innovación educativa dentro del laboratorio donde se busca implementar, a través de la formación de equipos, estrategias experimentales para la vinculación de conceptos de termodinámica en el laboratorio con la resolución de problemas ambientales relacionados con la fisicoquímica. Estos equipos se conforman con estudiantes de diferentes carreras y semestres, lo que fomenta la diversidad de habilidades y conocimientos, enriqueciendo el proceso de aprendizaje y de entornos inclusivos (Campion, 2019).

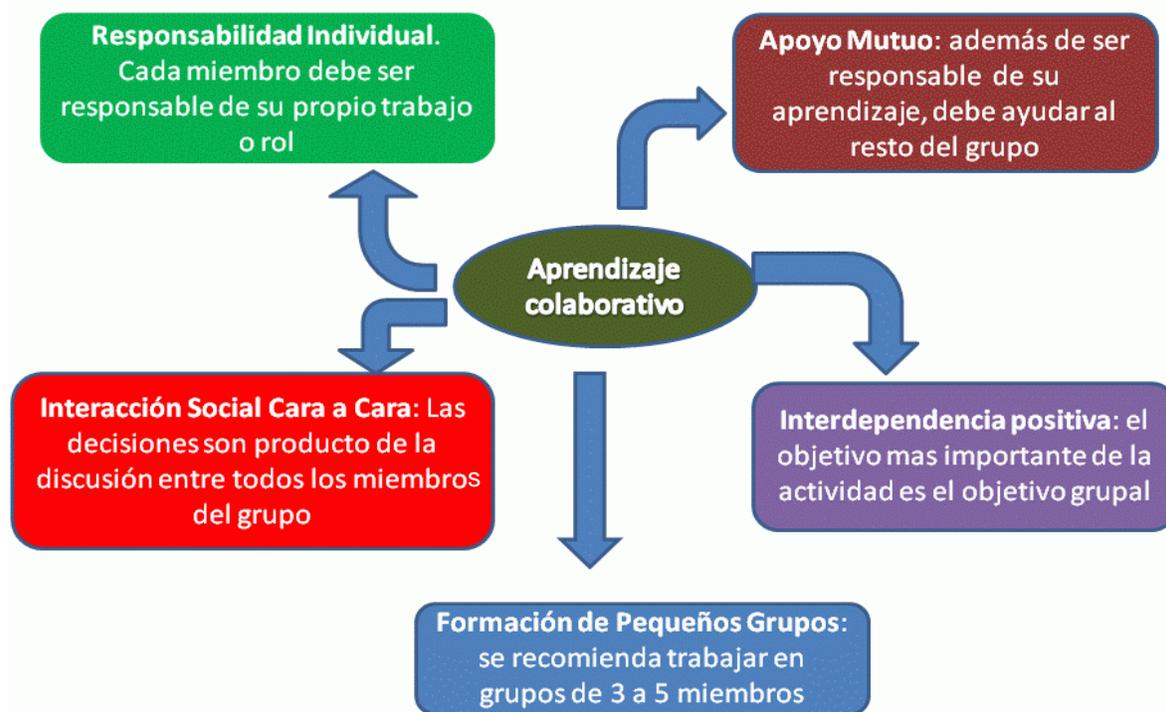
El aprendizaje colaborativo permite a los estudiantes compartir ideas, discutir conceptos y trabajar en conjunto para alcanzar objetivos comunes. Durante las prácticas de laboratorio, los estudiantes se apoyan mutuamente en la interpretación de resultados y en la comprensión de los fenómenos estudiados. Asimismo, se les estimula a plantear preguntas y retos, promoviendo la investigación autónoma y el pensamiento crítico con la estrategia inherente de aprendizaje colaborativo del “*aula invertida*” donde por medio de cuestionarios previos y cuestionarios previos instantáneos antes y después de la clases, los estudiantes hacen investigaciones individuales en su tiempo individual (su estudio personal) de los conceptos a aprender y lo discuten en la práctica para complementar y aclarar dudas respecto a estos de forma de poder llevar a cabo la experimentación (Arellano-Becerril & Escudero-Nahón, 2022).

El enfoque colaborativo también brinda la oportunidad de desarrollar habilidades sociales y comunicativas, ya que los estudiantes deben aprender a comunicarse de manera efectiva para compartir conocimientos y resolver problemas de manera conjunta. Estas habilidades son fundamentales en la vida profesional, ya que el trabajo en equipo y la colaboración son cada vez más valorados en el ámbito laboral y social (Arellano-Becerril & Escudero-Nahón, 2022).

Además, el aprendizaje colaborativo fomenta la responsabilidad compartida en el proceso de aprendizaje. Los estudiantes asumen roles activos dentro de los equipos, lo que los motiva a comprometerse con su propio aprendizaje y con el de sus compañeros. De esta manera, se fomenta la autonomía y el sentido de pertenencia al grupo, lo que contribuye a un ambiente de apoyo y motivación (Campión, 2019).

En el marco del aprendizaje colaborativo, los estudiantes también tienen la oportunidad de compartir sus experiencias y conocimientos previos, enriqueciendo así el aprendizaje colectivo. La diversidad de perspectivas y enfoques permite una comprensión más integral de los conceptos fisicoquímicos y su aplicación en problemas ambientales (Collazos, 2006).

En la Figura 2 se esquematiza el aprendizaje colaborativo como una herramienta que fomenta la participación de los estudiantes desde su responsabilidad individual para generar apoyo mutuo, fortaleciendo el aprendizaje con la interacción social cara a cara, experimentando con la formación de grupos pequeños que estudien los conceptos en común en conjunto para lograr un aprendizaje del trabajo grupal.

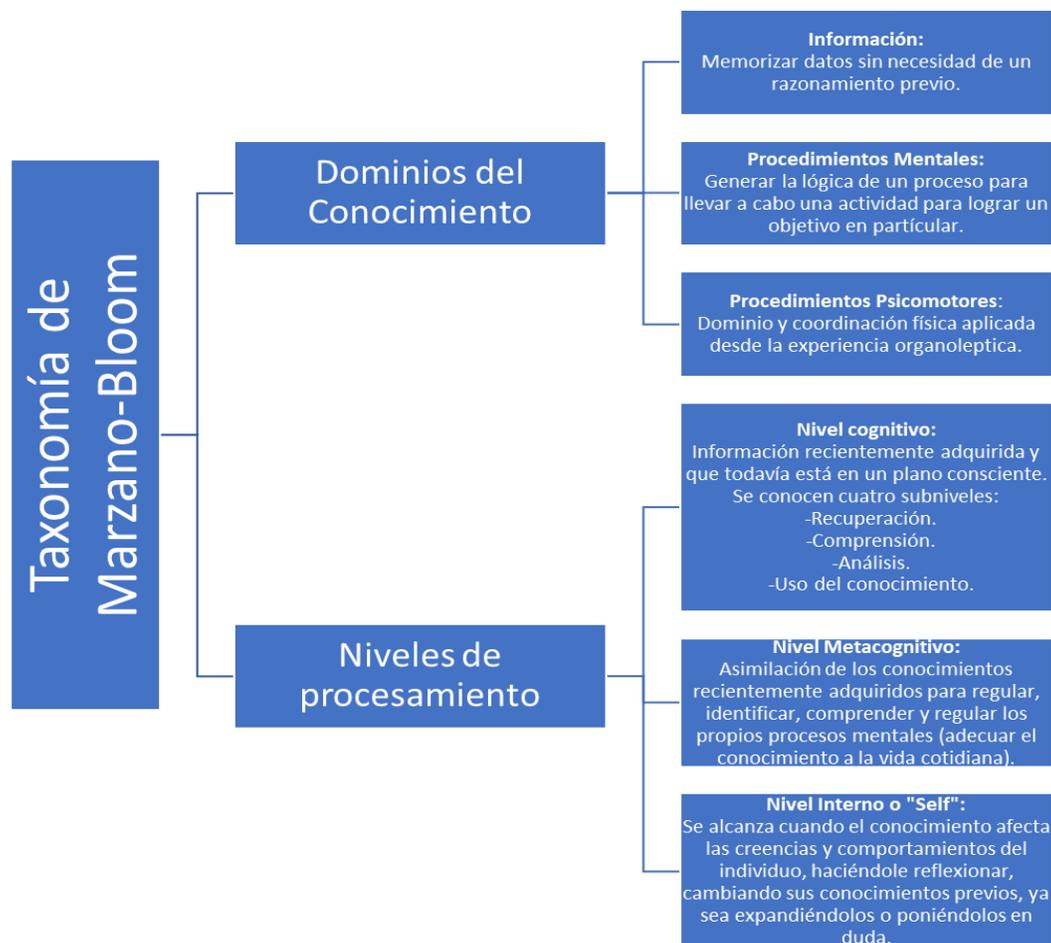


**Figura 2.** Componentes del aprendizaje colaborativo

#### **4.2 La taxonomía de Bloom**

La taxonomía de Bloom es una metodología para evaluar el grado de aprendizaje que se espera que alcance un alumnado sobre un conocimiento en específico (Masapanta & Velázquez, 2017). Es una herramienta pedagógica diseñada por Benjamín Bloom en 1956 y modificada en 2001 por Lorin Anderson, en el cual categoriza el nivel de conocimiento (enseñanza) que adquiere un alumno de acuerdo con los tres niveles de dominio psicológicos: Cognitivo, Afectivo y Psicomotor. Una forma sencilla de explicar esta forma de categorizar y ordenar las diferentes habilidades del pensamiento y su objetivo es asumiendo que, no se

puede entender un concepto sí primero no se recuerda y, de manera similar, no se puede aplicar un conocimiento o concepto sí no se entiende primero. Esta primera definición de la taxonomía se puede visualizar en el cuadro sinóptico de la Figura 3.



**Figura 3.** Cuadro Sinóptico que explica la 1er propuesta de la Taxonomía de Marzano-Bloom

De forma que de acuerdo con esta taxonomía el aprendizaje es un continuo que parte de las habilidades de pensamiento de orden inferior (LOTS, por sus siglas en inglés) y se desarrolla hacia habilidades de orden superior (HOTS) (Espinosa, 2009). Bloom describió cada categoría como un sustantivo y las organizó en orden ascendente, de inferior a superior, pero en 2001 Anderson cambió los sustantivos por verbos y en 2002 Krathwohl añadió una nueva dimensión de conocimiento (Campión, 2019).



**Figura 4.** Niveles de aprendizaje con la taxonomía de Bloom

La aplicación de la Taxonomía de Bloom en esta propuesta educativa permitirá una progresión lógica y coherente en el aprendizaje de los estudiantes, fomentando un enfoque constructivista donde los estudiantes sean protagonistas activos en su proceso de aprendizaje. Además, se espera que esta metodología motive a los estudiantes a desarrollar un interés genuino por la fisicoquímica y su aplicación en la solución de problemas ambientales, contribuyendo así al desarrollo de futuros profesionales comprometidos con el cuidado y preservación del medio ambiente. Este enfoque ayuda a los estudiantes a considerar lo que saben, así como las implicaciones de los objetivos de aprendizaje establecidos por el instructor (Henne et al., 2023).

#### **4.3 El eje ambiental en la enseñanza de fisicoquímica**

Por otra parte es indispensable introducir como eje central de estudio en todos los niveles de educación en México, las problemáticas ambientales que presenta el planeta, tales como: el calentamiento global, los derrames industriales, y la dispersión de energía como desperdicio de la misma; ya que estas problemáticas serán cuestiones sociales que necesitarán abordarse y solucionarse en un futuro próximo (Dos Santos Belmonte et al., 2022). La termodinámica intervendrá en la solución de múltiples requerimientos de la sociedad, ya que la termodinámica es

una disciplina autoconsistente, basada en fundamentos matemáticos formales con aplicaciones en la física, química y biología (Abriata, 2022). El análisis termodinámico de los sistemas naturales está basado en la definición de un conjunto de conceptos, variables y relaciones, y en la formulación de una serie de principios fundamentales, basados en la observación empírica. La conexión de los fundamentos matemáticos con la realidad experimental se produce a través de ecuaciones de estado (Juan Antonio Anta, Sofía Calero, 2020).

La termodinámica aborda cuestiones como la transferencia de energía en forma de calor, trabajo, entre sustancias y entre sistemas. Está basada en enunciados sólidamente establecidos, experimentalmente comprobados, llamados principios. Estos principios establecen límites y direcciones hacia donde puede avanzar un proceso (Juan Antonio Anta, Sofía Calero, 2020).

El planeta Tierra es un sistema de gran complejidad. Su composición y principales variables constitutivas están sujetas a una evolución constante, incluso si en el intervalo temporal de una generación humana estos cambios no son perceptibles. Los cambios geológicos necesitan millones (o decenas de millones) de años para tener efecto, sin embargo, los cambios climáticos suceden en pocas décadas. La escala temporal de la evolución biológica también abarca millones de años, pero las reacciones químicas y bioquímicas que hacen viable la vida puede ocurrir en distintas escalas temporales, incluso del orden de segundos. La constante transformación de las estructuras geológicas y biológicas, el cambio de composición y el intercambio de materia y energía entre distintos comportamientos y subsistemas es probablemente unos de los aspectos más característicos de nuestro planeta. Para comprender el cambio desde un punto de vista científico necesitamos considerar dos aspectos:

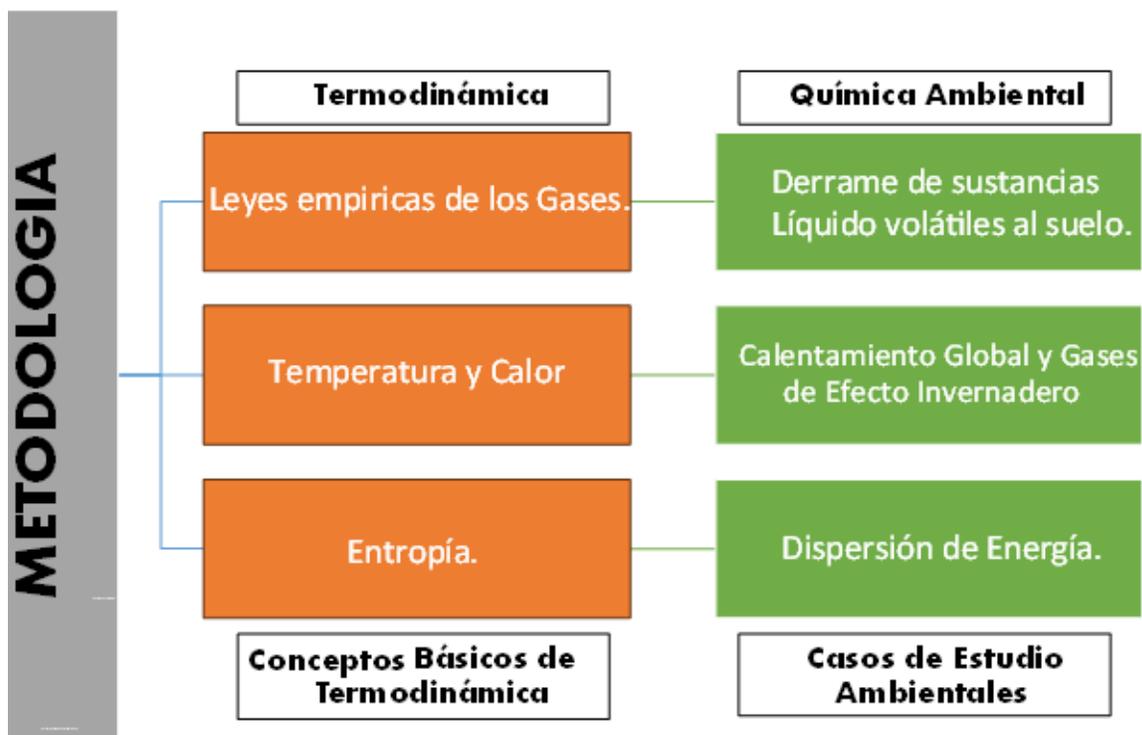
1. Establecer qué provoca el cambio y en qué dirección se produce.
2. Saber la velocidad con la que se produce.

El primer aspecto es el estudio principal de la termodinámica, mientras que del otro aspecto se ocupa la cinética (Juan Antonio Anta, Sofía Calero, 2020).

La educación ambiental puede definirse como el proceso interdisciplinario para desarrollar ciudadanos conscientes e informados acerca del ambiente en su totalidad, en su aspecto natural y modificado; con capacidad para asumir el compromiso de participar en la solución de problemas, tomar decisiones y actuar para asegurar la calidad ambiental (Atencio, María & Quiroz, 2022)

La educación para el desarrollo sostenible, tiene como característica principal, poder incorporarse a otras asignaturas para complementarlas, sin que se enseñe como asignatura independiente; además de tener los siguientes rasgos: ser interdisciplinaria, orientada a valores y principios compartidos que sirven de base al desarrollo sostenible, basarse en el pensamiento crítico y en la solución de problemas, utilizar múltiples métodos y diversas pedagogías en la toma de decisiones y en las experiencias didácticas integradas a la vida cotidiana (Atencio, María & Quiroz, 2022).

La vinculación de la química ambiental con la termodinámica se puede abordar mediante la herramienta pedagógica *caso de estudio*, de esta manera se relaciona a un problema ambiental con algunos conceptos clave de fisicoquímica a través del desarrollo de una práctica experimental. En las siguientes secciones se describe el marco teórico de los conceptos abordados en la metodología de esta tesis. Un resumen de la asignación del caso de estudio ambiental en relación con los conceptos de termodinámica elegidos se presenta en la Figura 5.



**Figura 5.** Vinculación de la Termodinámica clásica con la química ambiental usando casos de estudio

#### 4.4 Las leyes empíricas de los gases

En el siglo XIX varios físicos definieron un “*gas ideal*” como el estado de agregación de la materia en la cual las moléculas que componen una sustancia experimentan un movimiento aleatorio, y las fuerzas de atracción entre estas son tan débiles que cada una se mueve de forma libre e independiente de las otras (Esteban & Echavarría, 2022). Fue Ludwig Boltzmann y James Clerk Maxwell quienes encontraron que las propiedades físicas de los gases se explican en términos del movimiento de moléculas individuales, lo cual se define como la energía capaz de realizar trabajo o producir un cambio. Los estudios de estos físicos llevaron a la teoría cinética de los gases que supone las siguientes características en todos los gases (Chang, 2002):

1. Un gas está compuesto de moléculas que están separadas por distancias mucho mayores que sus propias dimensiones. Las moléculas pueden considerarse

como “partículas puntuales”, es decir, poseen masa, pero tienen un volumen despreciable.

2. Las moléculas de los gases están en continuo movimiento en dirección aleatoria y con frecuencia chocan unas contra otras. Las colisiones entre las moléculas son perfectamente elásticas, o sea, la energía total de todas las moléculas en un sistema permanece inalterada.

3. Las moléculas de los gases no ejercen entre sí fuerzas de atracción o de repulsión.

Fue mediante observaciones realizadas durante el siglo XVII que se postularon las relaciones empíricas entre las variables que describen a un gas ideal. Boyle y Marriotte de forma independiente hallaron que, a una temperatura (T) y cantidad de materia (n) fijas, el producto PV es constante o bien, el volumen (V) es inversamente proporcional a la presión (P).

Ley de Boyle – Marriotte

$$PV = f(T, n)$$

Ecuación 1

Adicionalmente, Gay – Lussac determinó que la relación V/T de un gas a presión y cantidad de materia fijas, es constante:

Ley de Gay – Lussac

$$\frac{V}{T} = f(P, n)$$

Ecuación 2

Además, la ley de Charles establece que la relación entre la presión y la temperatura son directamente proporcionales, cuando el volumen y la cantidad de materia son constantes:

Ley de Charles

$$\frac{P}{T} = f(V, n)$$

Ecuación 3

Finalmente, Avogadro observó que el volumen de un gas a temperatura y presión constantes es proporcional a la cantidad de materia del gas:

Ley de Avogadro

$$\frac{V}{n} = f(P, T)$$

Ecuación 4

En cada una de las leyes empíricas de los gases, la función  $f$  asume un valor constante e independiente de las variables que relaciona cada ley, o bien, la derivada de estas funciones es igual a cero.

#### **4.5 La temperatura y el calor**

A nivel microscópico, la temperatura está relacionada con el promedio de la energía cinética de las moléculas que componen a un sistema; sin embargo, para la termodinámica clásica, la discusión es centrada desde el punto de vista macroscópico. Aunque cada persona tiene un significado de una escala termométrica basada en los descriptores *frío* y *caliente*, se requiere de una medida cuantitativa y comparable de la temperatura que no radique en la experiencia individual. Es por ello que, el concepto macroscópico de temperatura se define como una función lineal, monotónica y continua que relaciona a una propiedad física con el equilibrio térmico. Algunas propiedades físicas que se relacionan con el equilibrio térmico son el volumen de mercurio confinado en un capilar, la fuerza electromotriz generado por la unión de dos metales o la resistencia eléctrica de un cable de platino.

Función de temperatura

$$T(x) = a + bx$$

Ecuación 5

Donde  $a$  y  $b$  son constantes. La constante  $a$  determina el cero de la escala de temperatura,  $T(0) = a$ ; y la constante  $b$  determina el tamaño de la unidad de temperatura, denominada *grado* en una escala empírica. Para una escala absoluta, la constante  $a = 0$ .

Nótese que para referirse al concepto de temperatura es necesario considerar al equilibrio térmico (ley cero de la termodinámica) como un componente intrínseco de una medición.

Uno de los conceptos que continuamente es confundido con el de temperatura es el de calor. El calor ( $Q$ ) es una forma de energía que se transfiere entre un sistema y los alrededores debida a una diferencia de temperatura entre ellos. Esta transferencia de calor siempre ocurre del sistema de mayor temperatura al de menor

y su magnitud depende de la cantidad de materia. Adicionalmente, la cantidad de energía calorífica transferida entre los sistemas es dependiente de la capacidad térmica de cada sistema. Una sustancia con alta capacidad térmica ( $c$ ) podrá mantener una baja diferencia de temperatura ( $\Delta T$ ) en comparación con una sustancia con baja capacidad térmica. La expresión que describe al calor es la siguiente:

Calor

$$Q = nc\Delta T$$

Ecuación 6

Algunas propiedades del calor es que solo aparece cuando hay un cambio de estado (proceso) y tiene un efecto directo en la energía interna de acuerdo con la primera ley de la termodinámica y por convención, tiene una magnitud positiva si el sistema de estudio recibe energía calorífica de los alrededores, y tienen una magnitud negativa si es el sistema quien transfiere calor hacia los alrededores.

#### **4.6 La Entropía**

La entropía es uno de los conceptos de la fisicoquímica más difíciles de comprender y enseñar. Los argumentos teóricos de su existencia se basan en la segunda ley de la termodinámica, resultado del análisis de una máquina de calor bajo un proceso cíclico reversible. En este análisis Clausius concluyó que *“Ningún proceso es posible cuyo único resultado sea la transferencia de calor de un cuerpo más frío a otro más caliente”*; otra interpretación la dieron Kelvin y Plank al establecer que *“No existe ningún proceso cíclico cuyo único resultado sea la absorción de calor de un depósito (receptor de calor) y la conversión de todo este calor en trabajo, pues implica una eficiencia de conversión perfecta (del 100%) y esto no es posible”* (Dittrich et al., 2016a). De modo que en un sistema cerrado la energía se dispersa y se vuelve menos útil con el tiempo, además la entropía se relaciona con la transferencia de energía que fluye de un objeto de mayor temperatura a uno de menor temperatura, siendo un proceso irreversible. La entropía del universo termodinámico aumenta mientras la energía se disperse entre los alrededores y/o un reservorio frío.

Las afirmaciones anteriores tienen implicaciones importantes como la imposibilidad de construir una Máquina térmica perfecta (que transfiera toda la energía en trabajo sin dispersión de energía) y la idea de que el universo inevitablemente llegará a un estado final donde toda la energía se ha dispersado y se ha vuelto inservible. Para fines de la presente tesis, se empleará la interpretación física propuesta por Edward A. Guggenheim en 1959 (Guggenheim, 1959) de la entropía como la energía dispersada a los alrededores o a un reservorio frío y que no puede producir trabajo en el mismo proceso donde se originó. La expresión matemática que define a la entropía es la siguiente:

$$\text{Entropía} \qquad dS = \frac{\delta Q_{rev}}{T} \qquad \text{Ecuación 7}$$

Considerando un proceso reversible de cambio de temperatura a presión constante, para intervalos de temperatura suficientemente pequeños que la dependencia de la capacidad térmica molar ( $C_p$ ) con la temperatura es despreciable, se tiene para la entropía lo siguiente:

$$\text{Entropía a presión contante} \qquad \Delta S = \int \frac{\delta Q_{rev}}{T} = \int \frac{nC_p dT}{T} \approx nC_p \ln \frac{T_f}{T_i} \qquad \text{Ecuación 8}$$

Aunque  $\Delta S$  debe calcularse para un proceso reversible, la ecuación anterior es válida para cualquier proceso reversible o irreversible que tengan los mismos estados inicial y final, puesto que el cambio de entropía es una función de estado; es decir, independiente de la ruta del proceso. Adicionalmente, en el cálculo de entropía se respeta la convención de signos para el calor, positivo cuando el sistema recibe la energía y negativo cuando el sistema cede calor (Engel & Reid, 2021).

#### **4.7 Temas selectos de química ambiental**

Para los propósitos de vinculación de algunos conceptos de fisicoquímica con química ambiental se eligieron temas de relevancia actual como la contaminación de suelos con sustancias volátiles, gases de efecto invernadero, calentamiento global y la interacción entre distintos ambientes como promotor del aumento de la entropía.

#### **4.7.1 Contaminación del suelo con sustancias volátiles**

La contaminación del suelo con sustancias volátiles es un problema ambiental creciente que tiene consecuencias significativas para la calidad del aire que respiramos. Las sustancias volátiles, también conocidas como compuestos orgánicos volátiles (COV), son compuestos químicos que pueden evaporarse fácilmente a temperatura ambiente y, por lo tanto, tienen el potencial de liberarse al aire. Esta liberación puede ocurrir como resultado de actividades humanas, como la industria química, el uso de solventes y la gestión inadecuada de desechos.

La presencia de sustancias volátiles en el suelo puede tener un impacto directo en la calidad del aire. Cuando estos compuestos se liberan al aire, pueden reaccionar con otros contaminantes atmosféricos y contribuir a la formación de ozono troposférico, un componente perjudicial del smog. Además, algunos COV tienen propiedades tóxicas y carcinogénicas, lo que agrega preocupaciones sobre la salud humana a la ecuación.

Es esencial abordar de manera integral la contaminación del suelo con sustancias volátiles para mitigar sus impactos en la calidad del aire y proteger la salud humana y el medio ambiente. Esto implica implementar prácticas sostenibles en la gestión de desechos, promover tecnologías más limpias en la industria y fomentar la conciencia ambiental para reducir las actividades humanas que contribuyen a esta problemática interconectada. A este respecto, el análisis del comportamiento de una sustancia volátil a través de las leyes empíricas de los gases puede ser una herramienta importante en la enseñanza de la fisicoquímica.

#### **4.7.2 Gases de efecto invernadero y calentamiento global**

Los gases de efecto invernadero (GEI) desempeñan un papel crucial en la regulación térmica de la Tierra, pero su aumento antropogénico ha desencadenado un fenómeno preocupante conocido como el calentamiento global. La comprensión de estos conceptos se entrelaza con los principios fundamentales de la termodinámica clásica, específicamente en relación con la temperatura y el calor.

Los GEI, como el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el metano ( $\text{CH}_4$ ), el ozono ( $\text{O}_3$ ) y el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), actúan como agentes que absorben y reemiten radiación infrarroja en la atmósfera. Este proceso, conocido como efecto invernadero, retiene parte del calor solar en la Tierra, manteniendo una temperatura superficial adecuada para sustentar la vida.

Sin embargo, las actividades humanas, como la quema de combustibles fósiles y la deforestación, han incrementado la concentración de GEI, intensificando el efecto invernadero y alterando el equilibrio térmico natural de la Tierra. Este desequilibrio conduce al calentamiento global, un aumento gradual de la temperatura media de la superficie terrestre.

Desde una perspectiva termodinámica, el calentamiento global puede entenderse como un cambio en el equilibrio de energía en la Tierra. El Sol proporciona continuamente energía al sistema terrestre en forma de radiación solar. Parte de esta energía se refleja hacia el espacio, pero la mayor parte es absorbida por la Tierra y luego reemitida como radiación infrarroja. Los GEI, al atrapar parte de esta radiación infrarroja, contribuyen a la retención de calor en la atmósfera, lo que resulta en un aumento neto de la energía térmica almacenada en el sistema.

Este desequilibrio térmico tiene consecuencias significativas, como el aumento del derretimiento de los glaciares, el cambio en los patrones climáticos y el aumento del nivel del mar. La termodinámica clásica ofrece un marco conceptual para entender cómo las actividades humanas, al perturbar el equilibrio térmico de la Tierra, desencadenan un proceso continuo de calentamiento global.

En resumen, la relación entre los GEI, el calentamiento global y los principios de la termodinámica clásica revela la interconexión entre la actividad humana, la regulación térmica natural de la Tierra y los cambios en la energía del sistema. Este entendimiento es esencial para abordar los desafíos del cambio climático y desarrollar estrategias efectivas para mitigar sus impactos.

### **4.7.3 Interacción entre diferentes ambientes**

La interacción térmica entre diferentes ecosistemas es un fenómeno complejo que puede ser analizado desde la perspectiva de la termodinámica clásica, la cual, a su vez, se conecta de manera íntima con la química ambiental. La entropía, una medida de la dispersión de la energía en un sistema, desempeña un papel crucial en este contexto.

Desde el punto de vista termodinámico, la entropía se asocia comúnmente con la tendencia natural de los sistemas hacia estados más desordenados. A medida que la energía fluye a través de los diferentes componentes de un ecosistema, ya sea a través de la radiación solar, la respiración de los organismos o los procesos químicos en el suelo, la entropía tiende a aumentar. Este aumento en la entropía está vinculado con la dispersión de la energía térmica y la redistribución de la materia.

En la interfaz entre diferentes ecosistemas, como la transición de un bosque a una pradera, se observa una compleja interacción térmica. La radiación solar que incide sobre estos ambientes se absorbe de manera diferente, afectando las temperaturas locales y los flujos de energía. Los procesos químicos en el suelo, como la descomposición de la materia orgánica, también contribuyen a la generación de calor y al aumento de la entropía.

La química ambiental juega un papel clave en estas interacciones térmicas. Los procesos de fotosíntesis y respiración, fundamentales para la vida en los ecosistemas, implican reacciones químicas que liberan o absorben energía térmica. Además, la composición química del suelo influye en su capacidad para retener o liberar calor, afectando así las condiciones térmicas locales.

Es importante destacar que, aunque el aumento de la entropía es una tendencia general, los ecosistemas tienen la capacidad de mantener cierto orden a través de procesos de retroalimentación y regulación. Sin embargo, las actividades humanas, como la deforestación y la alteración de los ciclos biogeoquímicos, pueden perturbar

estos equilibrios, aumentando la entropía y generando cambios significativos en las condiciones térmicas.

En síntesis, la interacción térmica entre diferentes ecosistemas y el aumento de la entropía son fenómenos intrínsecamente ligados a la termodinámica clásica y la química ambiental. Comprender estas relaciones es esencial para abordar los desafíos ambientales y desarrollar estrategias sostenibles que preserven la integridad térmica y química de los ecosistemas en el contexto del cambio climático y la actividad humana.

## 5. Metodología

Para dar cumplimiento a los objetivos del presente trabajo, se realizó la selección de tres tópicos del curso de termodinámica (clave 1212) y se propuso la vinculación con tres temáticas ambientales de relevancia actual. La selección de temas se realizó en función del manual de prácticas de laboratorio vigente y del programa actual de la asignatura, tomando en consideración conceptos claves del curso: 1) leyes empíricas de los gases y su relación con suelos contaminados con una sustancia volátil; 2) Temperatura y calor y su relación con los gases de efecto invernadero y el calentamiento global y 3) La entropía en la interacción de diferentes ecosistemas. La metodología constó de tres etapas principales: Desarrollo de propuestas experimentales, aplicación frente a un grupo piloto de estudiantes y evaluación del aprendizaje.

### ***5.1 Desarrollo de experimentos de laboratorio***

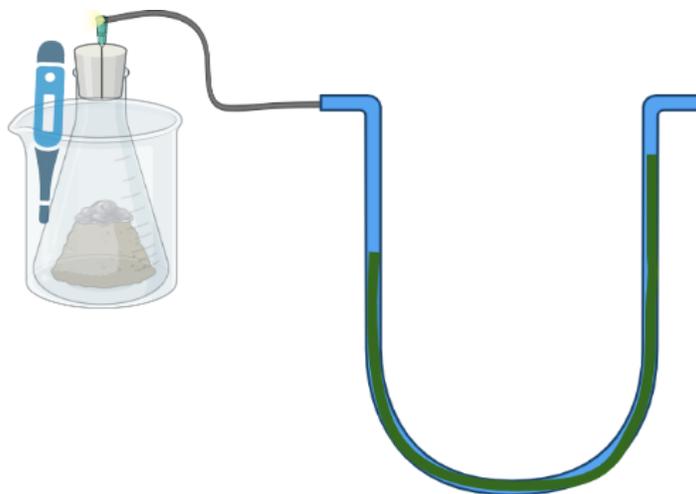
Los protocolos de las tres prácticas de laboratorio propuestas en el presente trabajo contienen la descripción detallada de los objetivos, cuestionarios de evaluación previa, procedimiento experimental, cuestionarios de evaluación posterior, tratamiento de residuos y bibliografía básica. Estos protocolos se encuentran en la sección de Anexos al final de esta tesis.

De manera general, cada experimento de laboratorio fue replicado tres veces en un mismo día para la evaluación de la repetibilidad y también en días consecutivos para la evaluación de la reproducibilidad. A continuación, se describe brevemente el procedimiento experimental para cada uno de los tres experimentos propuestos.

#### ***5.1.1 Leyes empíricas de los gases y la contaminación del suelo con una sustancia volátil***

En un matraz Erlenmeyer de 25 mL se colocaron 5 g de arena seca y 1 mL de un líquido volátil (etanol, agua o isopropanol). El matraz se cerró con un tapón de hule el cual contenía una manguera conectada a un manómetro en U con agua como líquido manométrico. Antes de conectar al manómetro se registró la posición de

equilibrio de éste. El matraz Erlenmeyer se sumergió en un baño de hielo – agua y después de 2 minutos se registró la temperatura del baño, así como la altura y el volumen de líquido manométrico desplazado. Se repitieron las mediciones a cinco diferentes temperaturas mediante la adición de volúmenes distintos de agua a temperatura ambiente al baño. En la Figura 6 se muestra un esquema del montaje experimental.



**Figura 6.** Esquema del procedimiento experimental para la verificación de las leyes empíricas de los gases a través de la evaporación de una sustancia volátil adsorbida en arena

El cálculo de la presión absoluta se realizó empleando la Ecuación 9, donde  $P_{abs}$  es la presión absoluta en unidades de  $cmH_2O$ ,  $P_{sis}$  es la presión manométrica del sistema y  $P_{atm}$  es la presión barométrica local al momento del experimento.

Presión absoluta	$P_{abs} = P_{atm} + P_{sis}$	Ecuación 9
------------------	-------------------------------	------------

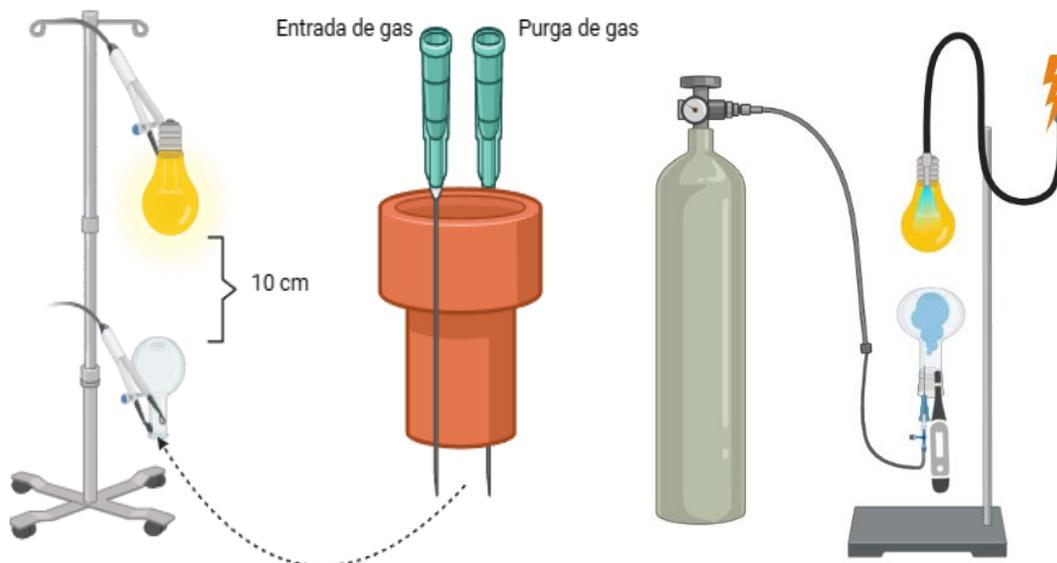
En la Ecuación 9, se consideró que la magnitud de la presión del sistema ( $P_{sis}$ ) medida con el manómetro en U puede ser negativa en el caso de la presión de vacío (el líquido manométrico se desplaza en dirección a la rama conectada al sistema) o positiva al tratarse de una presión por encima de la presión atmosférica local (el líquido manométrico se desplaza hacia la rama abierta). Finalmente, las unidades de la  $P_{abs}$  son convertidas a atmósfera y pascuales con los factores de conversión adecuados ( $1 atm = 101,325 Pa = 1033.23 cmH_2O$ ).

Las unidades de las temperaturas registradas durante los experimentos fueron convertidas a unidades en la escala Kelvin y el volumen se registró en  $\text{cm}^3$  de acuerdo con el diámetro de la tubería del manómetro, la manguera y el volumen del matraz.

Finalmente, se construyeron las gráficas  $P(V)$ ,  $P(T)$  y  $V(T)$ . Cabe destacar, que, de acuerdo con el diseño experimental, se esperó que el resultado de la gráfica  $P(V)$  tendría un comportamiento opuesto al que establece la ley de Boyle-Marriott debido a que durante el experimento no se mantuvo la temperatura constante. Este comportamiento opuesto debía ser identificado, discutido y explicado por los estudiantes.

### ***5.1.2 Temperatura, calor, los gases de efecto invernadero y el calentamiento global***

Se montó un arreglo como el mostrado en la Figura 7 en el que un matraz de 100 mL purgado con un gas (dióxido de carbono, ozono, aire o nitrógeno) es expuesto a la radiación calorífica de una lámpara incandescente y la temperatura del gas es monitoreada a través del tiempo. Para ello, un matraz de 100 mL es soportado debajo de una lámpara incandescente de luz infrarroja. El matraz es cerrado con un tapón de hule que posee un termómetro y dos cánulas. Una cánula se conectó al tanque de alguno de los gases mientras que la otra sirvió como salida del gas. El tanque fue abierto por dos minutos a una velocidad de flujo entre  $0.5$  y  $1.0 \text{ L min}^{-1}$  con el matraz dentro de la campana. Transcurrido este tiempo se retiraron ambas cánulas y el matraz se instaló en el soporte. Posteriormente, se encendió la lámpara incandescente ubicada a 15 cm del matraz, se registró el tiempo y cada cambio de  $0.1^\circ\text{C}$  de temperatura por un intervalo de 5 minutos. Finalmente, se apagó la lámpara y se continuó registrando la temperatura hasta alcanzar nuevamente la temperatura ambiente. Cada experimento se repitió con un gas diferente. Una gráfica de la diferencia de temperatura en función del tiempo y de calor en función de tiempo fueron construidas para mostrar las diferencias en el comportamiento de los diferentes gases.



**Figura 7.** Montaje experimental para la medición de los cambios de temperatura de distintos gases bajo una misma fuente de radiación calorífica

Para el cálculo del calor involucrado en los cambios de temperatura de cada gas se empleó un valor constante de la capacidad térmica específica obtenida del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST por sus siglas en inglés). Los valores empleados se muestran en la Tabla 1. El calor se determinó empleando la Ecuación 10, donde  $Q$  es el calor absorbido o liberado por el gas,  $c$  es la capacidad térmica específica del gas y  $\Delta T$  es el cambio de temperatura del gas con respecto a la temperatura ambiente inicial.

$$Q = mc\Delta T$$

Ecuación 10

**Tabla 1.** Capacidades térmicas específicas de algunos gases en el intervalo de 200 a 400 K

Gas	Capacidad térmica específica $\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}$
Ozono	39.22
Nitrógeno	29.12
Dióxido de carbono	37.22
Oxígeno	29.39

### 5.1.3 Entropía como dispersor de energía

Para este experimento se consideró la Ecuación 8 y se calculó el cambio de entropía del universo asumiendo que el sistema fue aislado. El experimento consistió en un recipiente con paredes adiabáticas como un vaso de unicel con tapa, al cual se le adicionaron 150 mL ( $m_{H_2O} = 150 \text{ g}$ ) de agua a una temperatura inicial ( $T_0$ ) de  $70^\circ\text{C}$ , con una capacidad térmica específica de  $4.184 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ . El recipiente fue cerrado con una tapa la cual contenía un orificio por donde se hizo pasar un termómetro digital. Posteriormente, se adicionó una porción de 5 g de arena (capacidad térmica específica de  $0.830 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}$ , masa molar aparente  $60.09 \text{ g mol}^{-1}$ ) a temperatura ambiente, se registró cada cambio de  $0.1^\circ\text{C}$  y el tiempo transcurrido, hasta alcanzar equilibrio térmico (aproximadamente 3 min). Transcurrido este tiempo se adicionó una segunda porción de 5 g de arena y se repitieron las mediciones. Un esquema de este experimento se muestra en la Figura 8, mientras que la Ecuación 11 muestra el cálculo de la entropía del universo termodinámico del experimento.

$$\Delta S_{total} = \Delta S_{sistema} + \Delta S_{alrededores} = -m_{H_2O}c_{H_2O} \ln \frac{T_f}{T_0} + m_{arena}c_{arena} \ln \frac{T_f}{T_0}$$

Ecuación 11



**Figura 8.** Arreglo experimental para la determinación del cambio de entropía en la interacción de sistemas acuosos y sólidos aislados

## **5.2 Aplicación del aprendizaje activo a un grupo piloto**

El grupo piloto consistió en 10 estudiantes que se inscribieron a un taller extracurricular en el periodo intersemestral entre el semestre 2023-2 titulado “Taller de fisicoquímica con un enfoque ambiental” del 26 al 29 de junio de 2023 de 10:00 a 13:00 h en el laboratorio 8 del edificio C y en el laboratorio 205 del edificio F de la Facultad de Química de la UNAM. En tres de los cuatro días del taller se desarrollaron los experimentos y el cuarto día se realizó una discusión de casos reales para que los alumnos identificaran los conceptos aprendidos.

Se determinó la composición del grupo piloto mediante un cuestionario previo al taller. En su mayoría, los estudiantes pertenecieron al tercer semestre y ya habían cursado la asignatura de termodinámica y solo una estudiante no tenía conocimiento de los temas a tratar. Posteriormente, se plantearon las siguientes estrategias del constructivismo para la organización del taller experimental:

*Aprendizaje colaborativo.* Se formaron dos equipos de tres personas y uno de cuatro estudiantes. Cada equipo tenía diferentes integrantes entre cada experimento para favorecer la colaboración heterogénea (interacción entre distintos estudiantes en cada experimento). Se solicitó a los estudiantes que discutieran entre ellos por un minuto a los cuestionamientos hechos por el docente respecto a los temas a tratar. Cada equipo realizó variaciones del mismo experimento con el objetivo de identificar el efecto de dichas modificaciones en los conceptos a tratar; por ejemplo, durante la evaporación de un líquido volátil, cada equipo empleó una sustancia diferente. Al finalizar cada experimento, se discutieron de manera grupal a los resultados obtenidos en el experimento.

*Pensar, relacionarse y compartir.* Se formularon distintos cuestionamientos para los estudiantes antes y durante la explicación del experimento a tratar. Entre cada pregunta se brindó un tiempo de tres o un minuto para la discusión entre estudiantes antes de responder. El tiempo otorgado se basó en la complejidad de la respuesta esperada. Las preguntas formuladas para cada experimento se observan en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Preguntas de la estrategia didáctica *Pensar, relacionarse y compartir* aplicadas a los experimentos de la presente tesis

Práctica	Preguntas
<b>Leyes empíricas de los gases y contaminación con una sustancia volátil</b>	¿Qué es una sustancia volátil y qué es un contaminante? (1 min)
	¿Qué es el punto de ebullición de una sustancia y cuál es su relación con la presión de vapor y la presión atmosférica? (1 min)
	Si ocurre un derrame de una sustancia líquida volátil sobre el suelo ¿Qué ocurrirá con el contaminante? (1 min)  ¿Qué haría para disminuir el impacto del derrame de acuerdo con lo que sabe de las leyes empíricas de los gases y las propiedades de las sustancias volátiles? (3 min)
<b>Temperatura, calor, gases de efecto invernadero y cambio climático</b>	¿Qué diferencia hay entre los conceptos de calor y temperatura? (3 min)
	¿Qué se entiende por efecto invernadero y por calentamiento global? (1 min)
	¿Qué características tienen los gases de efecto invernadero y por qué? (1 min)  ¿Cómo se diferencia la transferencia de calor entre un gas de efecto invernadero de uno que no lo es? (1 min)
<b>Entropía y dispersión de la energía entre ambientes</b>	¿Qué entiende por entropía? (1 min)
	¿Cuál es el criterio de espontaneidad con respecto a la entropía? (1 min)  ¿Cómo es el cambio de entropía de procesos naturales en el ambiente? (1 min)

*Aprendizaje basado en problemas.* Se planteó a los estudiantes el problema a tratar y se les pidió discutir entre ellos por tres minutos identificar la problemática y proponer posibles soluciones de acuerdo con su experiencia. Posteriormente se brindó la explicación del tema del experimento enfatizando las similitudes entre la explicación del docente y las respuestas de los estudiantes. Adicionalmente, durante la última sesión del taller se expusieron a los estudiantes enfrentar problemas reales a través de una discusión grupal, identificando los conceptos aprendidos.

### **5.3 Evaluación del aprendizaje**

La evaluación del aprendizaje se basó en las respuestas de los estudiantes en un mismo cuestionario aplicado antes y posterior al experimento de cada sesión. Adicionalmente, se evaluó el reporte de cada práctica de manera individual empleando una rúbrica de evaluación.

#### **5.3.1 Cuestionarios de aprendizaje**

Antes y después de cada sesión se le solicitó al estudiante de forma individual responder un cuestionario digital en su teléfono mediante formularios Google con preguntas con opciones múltiples donde solo una es la respuesta correcta. Los cambios en las respuestas de los estudiantes fueron registrados como evidencia cuantitativa del aprendizaje del grupo. Las preguntas específicas de los cuestionarios de cada experimento se pueden observar en el Anexo II.

#### **5.3.2 Solicitud de los informes de la experimentación**

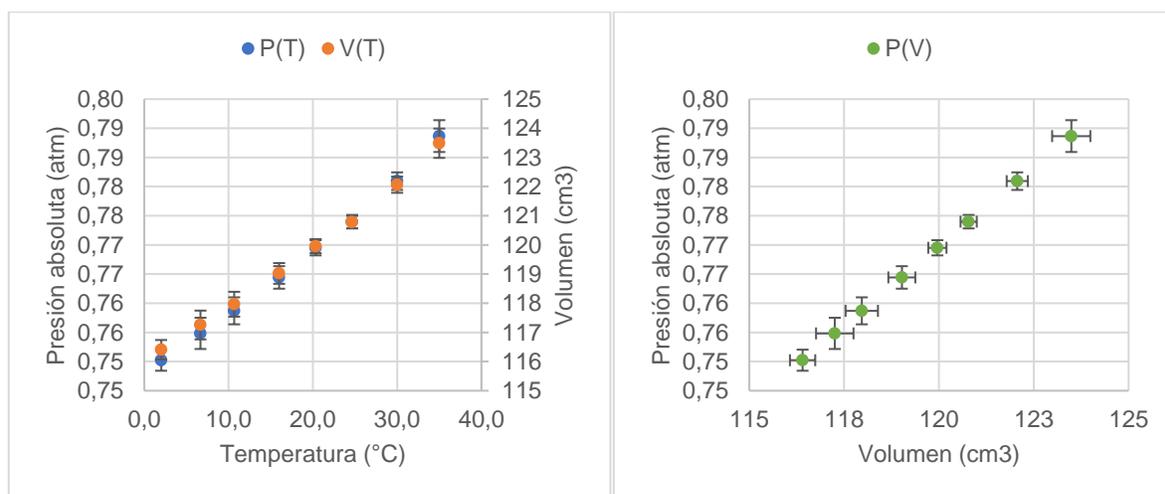
Los reportes se solicitaron individualmente, redactados con manuscrita y entregados de forma digital. Los reportes debían contener los cuestionarios propuestos en los protocolos, los resultados y su análisis, así como una conclusión. La evaluación de estos reportes por parte del profesor fue organizada y homogenizada mediante una rúbrica de evaluación mostrada en el Anexo III.

## 6. Resultados y discusión

### 6.1 Leyes empíricas de los gases y su relación con la contaminación del suelo con sustancias volátiles

En este experimento 5 g de arena seca fueron impregnados con isopropanol. La arena representó al suelo y el isopropanol a un contaminante volátil. El sistema de estudio fueron los vapores del líquido volátil encerrados en un matraz y la tubería del manómetro de U. Las variables de estudio fueron la temperatura, la presión fluidoestática y el volumen de vapor. La temperatura se midió con un termómetro digital (DLab, TP101,  $s = 0.1^{\circ}\text{C}$ ) del baño de hielo – agua en el que se sumergió al matraz con el sistema de estudio. La presión fluidoestática se midió con un manómetro en U con agua como líquido manométrico. El volumen se midió midiendo la longitud (hasta 26 cm) y radio de la tubería entre el matraz (2.38 mm) y el líquido manométrico, en adición al volumen del matraz ( $50\text{ cm}^3$ ).

Mediante variaciones en la temperatura del baño de agua – hielo se midieron los cambios en la presión fluidoestática y el volumen de vapor del líquido volátil. Los resultados obtenidos de estas mediciones se muestran en las Figura 9.



**Figura 9.** Gráficas  $P(T)$ ,  $V(T)$  y  $P(V)$  promedio ( $n = 3$ ) del experimento de las leyes empíricas de los gases de un líquido volátil

Como se aprecia en la Figura 9, los resultados mostraron el comportamiento esperado para las leyes de Charles ( $V(T)$ ) y Gay-Lussac ( $P(T)$ ); sin embargo, para

la ley de Boyle ( $P(V)$ ) se obtuvo una tendencia opuesta a lo establecido por Boyle. Este resultado se conocía con premeditación, y los estudiantes fueron capaces de identificar que la temperatura no se mantuvo constante durante el experimento como la razón de dicha oposición a la ley de Boyle.

En lo que respecta a la reproducibilidad del experimento, en la Tabla 3 se recopilaron los intervalos de coeficientes de variación (CV) en porcentaje de desviación con respecto al promedio de las mediciones. Como puede apreciarse, los coeficientes de variación se encontraron por debajo del 5% por lo que se consideró al experimento como reproducible. Mientras que en la Figura 9 se observa dicho resultado como barras de error representando la desviación estándar de cada medición.

**Tabla 3.** *Coefficientes de variación en la medición de temperatura, presión fluidoestática y volumen de vapor de un líquido volátil en experimentos de las leyes empíricas de los gases*

<b>Variable</b>	<b>Intervalo del coeficiente de variación (%)</b>
Temperatura	0.3 – 5
Presión fluidoestática	0.1 – 0.4
Volumen	0.2 – 0.4

Esta práctica de laboratorio fue replicada por un grupo de diez estudiantes organizados en equipos de tres y cuatro integrantes. No se encontraron dificultades en la reproducción de los experimentos por parte de los estudiantes. Adicionalmente, se les cuestionó oralmente sobre la relación de estas leyes con la contaminación del suelo y la respuesta fue favorable con respecto a la identificación del sistema de estudio, propiedades de los líquidos volátiles y el impacto que éstos pueden tener no solo en un suelo contaminado, sino en otras matrices como el aire y el agua.

La Tabla 4 muestra las preguntas orales presentadas a los estudiantes para mostrar la relación del tópico ambiental con la fisicoquímica. Estas preguntas no fueron consideradas dentro de la evaluación del aprendizaje porque su objetivo era presentar la relación de la fisicoquímica con un tópico de la química ambiental y las

respuestas recopiladas fueron basadas en una participación voluntaria y no como forma de evaluación individual. La evaluación del aprendizaje en esta práctica experimental será abordada en una sección posterior.

**Tabla 4.** Preguntas de introducción de la relación de las leyes empíricas de los gases con la contaminación con sustancias volátiles

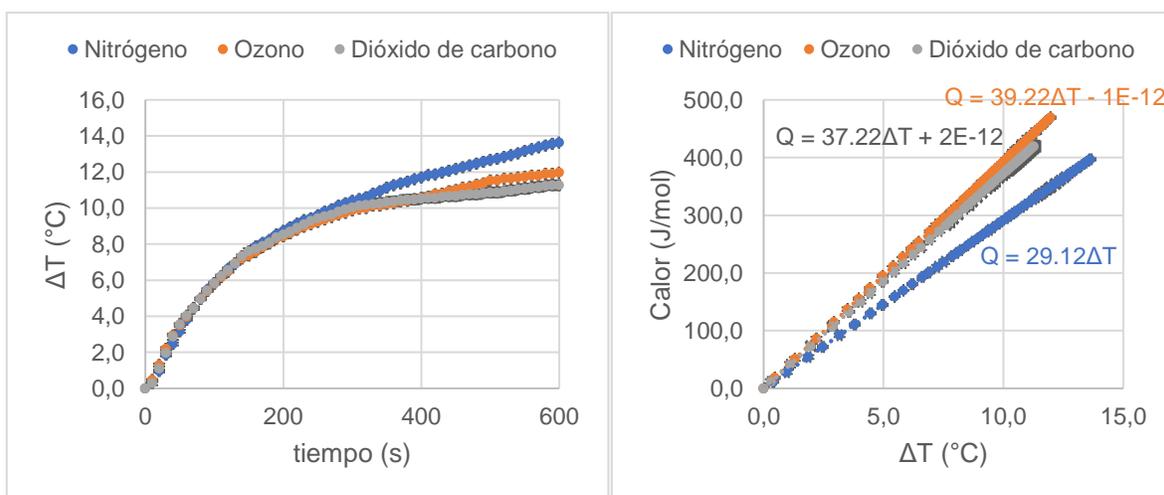
Pregunta	Respuestas
¿quién fue el sistema de estudio?	El vapor del líquido volátil
¿cuáles fueron los instrumentos de medición?	El termómetro digital, el manómetro de U, el Vernier y una regla graduada para medir el radio y longitud de la tubería y determinar su volumen.
¿Cómo impactaría que un líquido volátil sea derramado en el suelo o el mar? Por ejemplo, un derrame de petróleo	Un líquido volátil se evapora a temperatura ambiente por lo que migraría como contaminante al aire. Adicionalmente, el suelo puede permitir la adsorción y la dispersión del líquido a otras regiones del subsuelo.

## 6.2 Relación de la temperatura y el calor con el calentamiento global y el efecto invernadero

En este experimento se expuso a una fuente de calor (foco incandescente), un matraz lleno con alguno de los siguientes gases: nitrógeno ( $N_2$ , aunque también puede ser aire u oxígeno), dióxido de carbono ( $CO_2$ ) u ozono ( $O_3$ ) y se midió el cambio de temperatura respecto a la temperatura ambiental inicial ( $\sim 293$  K). El calor, debido al cambio de temperatura, fue calculado en intervalos de tiempo de 10 segundos empleando la Ecuación 10 y los valores de las capacidades térmicas específicas mostradas en la Tabla 1 (pág. 35).

En la Figura 10 se observa el comportamiento a través del tiempo de nitrógeno, dióxido de carbono y ozono irradiado con calor de una misma fuente en un intervalo

de 10 minutos. Se observan dos regímenes en el comportamiento de cada gas, en el primero del lado izquierdo de la gráfica ocurrió el calentamiento de los gases con incrementos similares de temperatura independientemente de la identidad del gas; sin embargo, un segundo régimen de calentamiento fue observado para diferencias de temperatura mayores a 9.0 K ( $\Delta T > 9.0$  K), en donde fue apreciable que el nitrógeno aumentó más su temperatura en hasta 1.5°C en comparación con el ozono y el dióxido de carbono; esto fue debido a la más baja capacidad térmica del nitrógeno en relación con los otros gases. En contraste, el comportamiento del ozono y dióxido de carbono fue muy similar durante todo el experimento debido a que sus capacidades térmicas son muy similares también (Tabla 1, pág. 35).



**Figura 10. Izquierda:** Comportamiento de la diferencia de temperatura de diferentes gases durante el experimento. **Derecha:** Calor absorbido por diferentes gases en función del cambio de temperatura

En vinculación con el efecto invernadero y el calentamiento global, una primera impresión es que el nitrógeno presentó un mayor incremento de la temperatura (Figura 10, izquierda) por lo que su contribución a estos dos fenómenos ambientales sería mayor; sin embargo, en el experimento, debe notarse que la cantidad de calor absorbida por el ozono y el dióxido de carbono fue cerca del 20% mayor en comparación con la del nitrógeno (Figura 10, derecha). Es precisamente esta cantidad de calor la que representa una contribución importante al calentamiento global y el efecto invernadero, porque es energía que no es liberada de forma inmediata y cuando sucede, ocurre en dirección hacia la tierra en lugar de ser

reflejada al espacio exterior de la tierra (Abbass et al., 2022). Con respecto a la reproducibilidad del experimento, los valores del coeficiente de variación en las mediciones fueron menores al 5.1%.

De igual manera que en el experimento anterior, algunas preguntas fueron realizadas a los estudiantes para observar si identificaban la vinculación de los conceptos de calor y temperatura con el calentamiento global y el efecto invernadero. Estas preguntas se muestran en la Tabla 5 y no tuvieron el objetivo de fungir como elementos de evaluación, este último rubro será discutido en una sección posterior.

**Tabla 5.** Preguntas sobre la vinculación de los conceptos de calor, temperatura y capacidad térmica con los tópicos de química ambiental sobre el efecto invernadero y el calentamiento global

Pregunta	Respuesta
¿Qué diferencia hay entre los conceptos de calor y temperatura?	La temperatura se refiere al equilibrio térmico entre sistema y el instrumento de medición basado en la ley cero de la termodinámica, es una propiedad de estado e intensiva. Mientras que el calor es la energía involucrada en un proceso debido a una diferencia de temperaturas, es una propiedad de trayectoria de tipo extensiva.
¿Qué es el efecto invernadero?	Es el fenómeno atmosférico en el que la temperatura media de la tierra se eleva debido a la distribución de la energía calorífica en los gases de efecto invernadero.
¿Qué es el calentamiento global?	Es el aumento de la temperatura media global de la atmósfera debido a la intensificación del efecto invernadero y está relacionado con el cambio climático.
¿Qué propiedad fisicoquímica es la responsable de que gases como el dióxido de carbono y el metano sean considerados como gases de efecto invernadero y que contribuyen al calentamiento global y que otros como el nitrógeno y el oxígeno no lo sean?	La capacidad térmica

### 6.3 Relación entre la entropía y la interacción entre ambientes

En este experimento, se determinó el cambio de entropía en el proceso de transferencia de calor entre una masa de agua a 70°C (sistema) contenida en un recipiente con paredes adiabáticas y algunos materiales añadidos (alrededores) con la intención de mostrar que las interacciones entre distintos ecosistemas propicia la dispersión de la energía y por consecuencia que los procesos naturales sean espontáneos. El cambio de entropía fue calculado empleando la Ecuación 11 (pág. 36) y los resultados son mostrados gráficamente en la Figura 11. Como se aprecia en dicha figura, la transferencia de calor del agua a la arena provocó un aumento súbito del cambio de entropía ( $t = 60$  s y  $t = 180$  s).

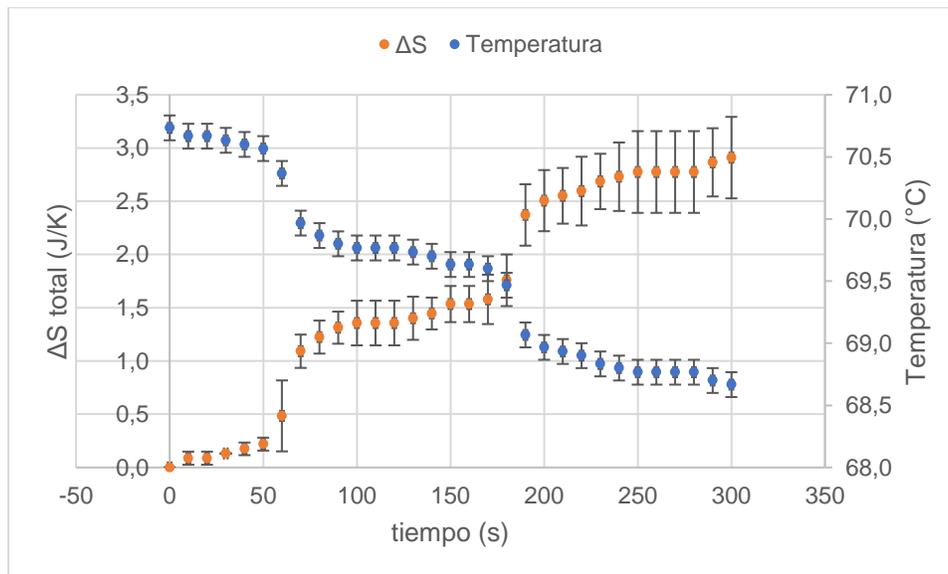


Figura 11. Cambio de entropía a través del tiempo (naranja) para la transferencia de calor de agua a arena y su variación de la temperatura en función del tiempo (azul)

Los coeficientes de variación estuvieron en el intervalo de 1.3% a 15.5%, donde la mayor dispersión de los resultados se halló justo en los puntos donde se añadió la arena. Esto fue debido a que la adición provoca la mayor variación de temperatura y el proceso de medición de la temperatura es más complicado por la rapidez con la que ocurre la transferencia de calor. Aun así, se consideró al experimento como reproducible.

Existen algunas aproximaciones descritas en la literatura (A. Liberko & Terry, 2001; Baierlein, 1994; Dittrich et al., 2016b) para determinar el cambio de entropía aplicado en experimentos para el laboratorio de termodinámica; sin embargo, estos requieren de conocimientos previos sobre el concepto de equilibrio químico que no es adquirido hasta un curso posterior. El experimento propuesto en el presente trabajo tuvo la desventaja de ser meramente demostrativo, pues, aunque para los estudiantes resultó evidente que la transferencia de calor es espontánea cuando dos ecosistemas de diferente temperatura interactúan y siempre del sistema de mayor al de menor temperatura, el hecho del aumento de entropía no fue evidente para los estudiantes, aun cuando en la Figura 11 se mostró un incremento en el valor de dicha propiedad.

La vinculación del tópico de la interacción entre diferentes ecosistemas como promotor del aumento de la entropía en la naturaleza, se planteó a los estudiantes durante el desarrollo del experimento mediante las preguntas orales mostradas en la Tabla 6 junto con las respuestas explicadas a los estudiantes. Nuevamente, como en los experimentos anteriores, se obtuvo una percepción positiva respecto a la comprensión del grupo de estudiantes, aunque no fue cuantificado ni considerado para la evaluación del aprendizaje.

En este experimento en particular, se observó que los estudiantes conocen diferentes explicaciones del significado físico y macroscópico de la entropía. La mayoría de los estudiantes abordan este concepto en relación con “desorden”; sin embargo, para el presente trabajo, se explicó a los estudiantes la perspectiva de la dispersión energética producida durante un proceso. Aunque, esta aproximación es más simple, empíricamente dio la impresión de que los estudiantes no abandonarían sus concepciones de entropía como el “nivel de desorden” y de un proceso espontáneo como aquel en el que el “desorden” aumenta, pues continuaron empleando dichas explicaciones durante el transcurso del experimento. En particular, algunos estudiantes consideraron que la adición de la arena produjo una mezcla más desordenada y ello aumentó el cambio de entropía.

Tabla 6. Preguntas sobre la vinculación del concepto de entropía y la interacción entre ecosistemas

Pregunta	Respuesta
¿qué entiende por entropía desde el punto de vista macroscópico?	Es una propiedad de estado y extensiva que indica la dirección de un proceso (espontaneidad). La interpretación física surge de la segunda ley de la termodinámica como la energía dispersada en un proceso y que no puede ser empleada para producir trabajo en el mismo proceso.
¿Cómo es el signo de la magnitud del cambio de entropía para un proceso espontáneo?	Es siempre positivo siempre y cuando sea la entropía del universo termodinámico.
Si para una transferencia de calor, el proceso es espontáneo cuando esta ocurre del cuerpo de mayor al de menor temperatura ¿Cómo ocurre cuando interaccionan diferentes ecosistemas? Por ejemplo, terrestre con acuático o aéreo.	En la naturaleza, el proceso de transferencia de calor es espontáneo si dos o más ecosistemas presentan una diferencia de temperaturas entre ellos e interaccionan entre sí. Estas interacciones son más complejas y en mayor número, por lo que la delimitación del universo termodinámico es muy importante para estudiar dichos fenómenos. Por ejemplo, la formación de un tornado será espontánea cuando en sistemas de baja presión haya interacción de corrientes de viento de baja con alta temperatura a altas velocidades de forma horizontal.
¿Qué ecosistemas se representan en el experimento que estás realizando?	En el experimento, el agua representaría al ecosistema acuático y la arena al terrestre.

En este experimento, fue notable que cambiar las preconcepciones de las interpretaciones del concepto de entropía que tienen los estudiantes es complejo. En adición, el experimento propuesto no brindó buenos resultados respecto a una mejor comprensión del concepto de entropía y no fue claro si los estudiantes pudieron vincularlo con el tópico ambiental.

## 6.4 Evaluación del aprendizaje

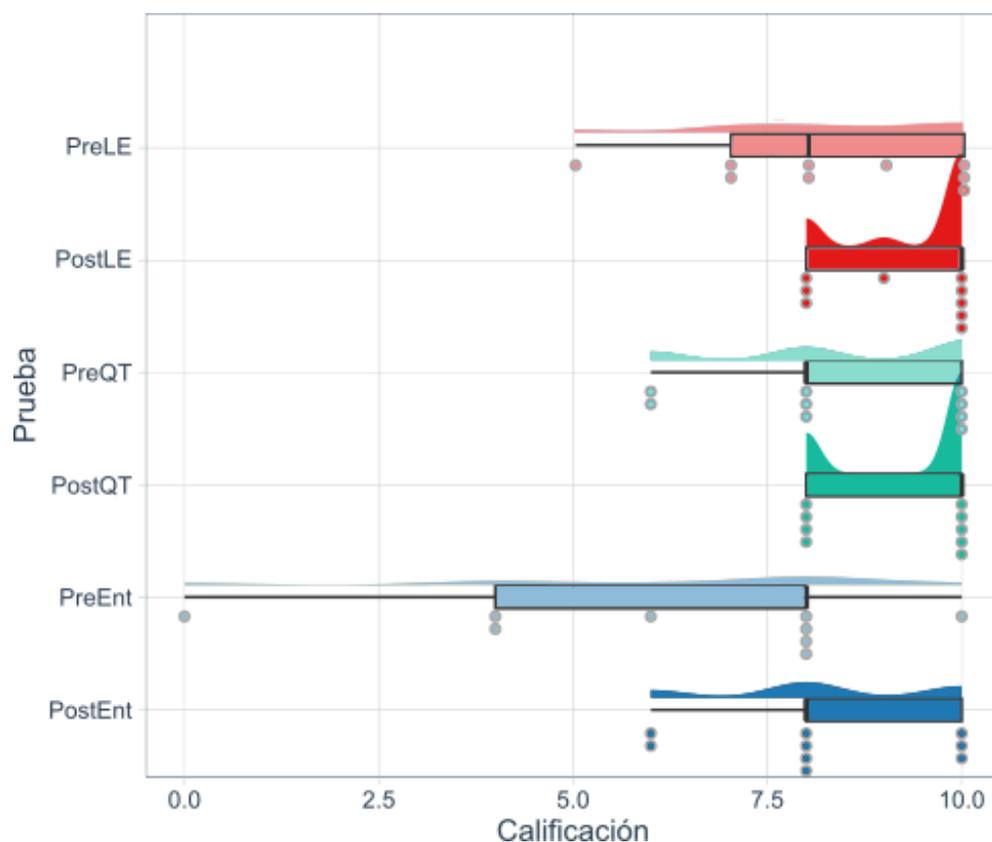
La evaluación del aprendizaje se determinó cuantitativamente basado en las respuestas de los estudiantes (N = 10 estudiantes) a un mismo cuestionario (N = 5 preguntas por experimento) aplicado en dos ocasiones, antes y después de la práctica de laboratorio. Las preguntas fueron aplicadas de forma digital a través de la plataforma Google Forms. Los cuestionarios junto con las respuestas de opción múltiple están disponibles en un vínculo de internet y son descritas en el Anexo II al final del presente trabajo. La evaluación del aprendizaje se cuantificó basado en la diferencia de calificaciones de acuerdo con las respuestas de los estudiantes en los cuestionarios de forma grupal. Los resultados globales, considerando todas las preguntas de cada cuestionario en cada experimento se resumen en la Figura 12.



**Figura 12.** Evaluación global del aprendizaje para cada uno de los experimentos probados ante un grupo piloto

Se determinó una mejora sustancial en el aprendizaje de los estudiantes basado en el aumento de su calificación después de realizar los experimentos y tras la aplicación de las estrategias didácticas. El 67% de los estudiantes mejoraron su aprendizaje en dos de los tres experimentos realizados. Mientras tanto, sólo 30% de los estudiantes mejoraron su aprendizaje en el experimento de temperatura y calor en relación con el efecto invernadero. El promedio de calificación cambió de  $8.2 \pm 1.6$  a  $9.2 \pm 0.9$ , de  $8.6 \pm 1.6$  a  $9.2 \pm 1.0$  y de  $6.2 \pm 2.9$  a  $8.2 \pm 1.5$ , de una escala de 1 a 10 para los experimentos de las leyes empíricas de los gases, temperatura y calor y para el de entropía, respectivamente.

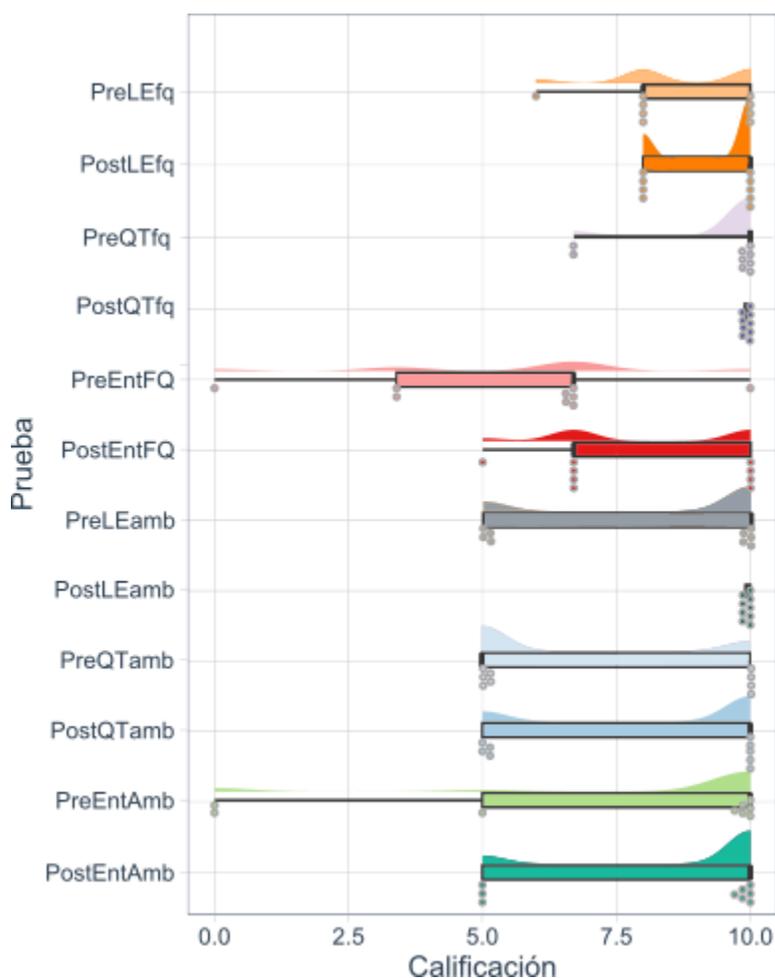
Los promedios de las calificaciones no fueron un buen indicador del cambio en el aprendizaje de los estudiantes después de aplicadas las estrategias didácticas, esto fue debido a que la distribución de los datos no siguió una distribución normal. En su lugar, se emplearon comparaciones de estadística no paramétrica como criterios de evaluación del aprendizaje. La Figura 13 resume muy bien la distribución de las calificaciones de los estudiantes, los datos reales y los diagramas de cajas y bigotes para cada una de las pruebas aplicadas antes y después de las estrategias didácticas. En todos los casos se observó una mejoría del aprendizaje basado en las medianas de las calificaciones de los estudiantes. Las calificaciones fueron estadísticamente diferentes para los experimentos de las leyes empíricas (LE) y de entropía (Ent), (Wilcoxon,  $p\text{-value} < 0.05$ ) y fueron estadísticamente iguales para el experimento de calor y temperatura (QT) en relación con el calentamiento global.



LE – leyes empíricas de los gases; QT – calor y temperatura; Ent – entropía  
Pre- y Post- indican previo y posterior a la aplicación de las estrategias didácticas, respectivamente.

**Figura 13.** Comparativa no paramétrica de las calificaciones globales de los estudiantes en el taller de fisicoquímica con un enfoque ambiental.

Los cuestionarios de evaluación del aprendizaje constaron de dos preguntas relacionadas a la vinculación con el t3pico de qu3mica ambiental y tres que evaluaron los conocimientos de los conceptos de fisicoqu3mica. La Figura 14 resume los cambios en el aprendizaje antes (Pre) y despu3s (Post) de aplicar las estrategias did3cticas y la realizaci3n de los experimentos. Adem3s, en esta ocasi3n, el an3lisis evalu3 la diferencia de aprendizaje si se trataba de t3picos de fisicoqu3mica (fq) o de vinculaci3n con qu3mica ambiental (amb).



LE – leyes emp3ricas de los gases; QT – calor y temperatura; Ent – entrop3a  
Pre- y Post- indican previo y posterior a la aplicaci3n de las estrategias did3cticas, respectivamente.

**Figura 14.** Comparativa no param3trica de las calificaciones por t3picos (fq - fisicoqu3mica y amb- ambiental) de los estudiantes en el taller de fisicoqu3mica con un enfoque ambiental

De acuerdo con la Figura 14 y la comparación por pares de Wilcoxon ( $\alpha = 0.05$ ), no hubo diferencia estadísticamente significativa ( $p > 0.05$ ) en el aprendizaje de tópicos de fisicoquímica, excepto para el tema de entropía donde el aprendizaje fue significativamente mejor ( $p < 0.05$ ). Mientras tanto, en lo que respecta a la vinculación de fisicoquímica con la química ambiental, hubo mejoras en el aprendizaje estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) para los tópicos de contaminación con sustancias volátiles en relación con las leyes empíricas de los gases y nuevamente para el de entropía en relación con la interacción de los ecosistemas, confirmando lo que se obtuvo en el análisis de las calificaciones globales discutido anteriormente.

Finalmente, no hubo diferencias significativas en el aprendizaje para el tópico de calor, temperatura en relación con el efecto invernadero. Tal como se aprecia en la Figura 14, solo un estudiante mejoró su comprensión con respecto al tópico ambiental y dos en el caso de los conceptos de fisicoquímica. El resto de los estudiantes tenía bases sólidas de la comprensión tanto de los conceptos de calor, temperatura y capacidad térmica como de los fenómenos asociados al efecto invernadero como el calentamiento global.

## 7. Conclusiones

Se propusieron tres experimentos que relacionaron los temas de fisicoquímica de las leyes empíricas de los gases, temperatura, calor, capacidad térmica y entropía con los tópicos de química ambiental de contaminación con sustancias volátiles, efecto invernadero, calentamiento global y la interacción de ecosistemas. Se determinó que los experimentos fueron reproducibles para ser realizados por estudiantes de segundo semestre de las carreras impartidas en la Facultad de Química, UNAM.

Se evaluó el aprendizaje activo (constructivista) de los conceptos de fisicoquímica en relación con los tópicos de química ambiental en un taller experimental con un grupo piloto de estudiantes. Se determinó que hubo mejoras estadísticamente significativas en el aprendizaje para los temas de las leyes empíricas de los gases con relación a la contaminación con sustancias volátiles y para el concepto de entropía en correspondencia con la interacción entre ecosistemas.

Adicionalmente, no hubo una diferencia significativa del aprendizaje para los tópicos de temperatura, calor, capacidad térmica correlacionados con el efecto invernadero y el calentamiento global. Se observó que los estudiantes poseían conocimientos relativamente sólidos sobre estos temas.

Se requieren algunas mejoras en el diseño de los experimentos y la propuesta de experimentos adicionales que ayuden a fortalecer la vinculación del eje de sustentabilidad con la fisicoquímica.

## 8. Referencias

- A. Liberko, C., & Terry, S. (2001). A Simplified Method for Measuring the Entropy Change of Urea Dissolution. An Experiment for the Introductory Chemistry Lab. *Journal of Chemical Education*, 78(8). <https://doi.org/10.1021/ed078p1087>
- Abbass, K., Qasim, M. Z., Song, H., Murshed, M., Mahmood, H., & Younis, I. (2022). A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. *Environmental Science and Pollution Research 2022* 29:28, 29(28), 42539–42559. <https://doi.org/10.1007/S11356-022-19718-6>
- Abriata, P. (2022). *Reminiscencias de mi recorrido por el jardín de la Termodinámica*.
- Acosta, Alba. R. (2018). Implementación de un laboratorio virtual como estrategia de enseñanza de los gases ideales en la institución educativa monseñor Alberto Reyes Fonseca de Guayabetal. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Arellano-Becerril, E., & Escudero-Nahón, A. (2022). Tendencias de investigación de aula invertida con aprendizaje colaborativo: una revisión sistemática. *IE Revista de Investigación Educativa de La REDIECH*, 13, e1492. [https://doi.org/10.33010/ie\\_rie\\_rediech.v13i0.1492](https://doi.org/10.33010/ie_rie_rediech.v13i0.1492)
- Armando, E., & Tapie, T. (2020). *Propuesta didáctica para la enseñanza de los fundamentos teóricos de los gases (ecuación de estado de los gases ideales, ley de Boyle, ley de Charles y GayLussac) a través del (ABP) aprendizaje basado en problemas con estudiantes de grado decimo de la I*. 1–91.
- Atencio, María, D. la R., & Quiroz, T. (2022). *Una aproximación a la educación ambiental desde latermodinámica An approach to environmental education from thermodynamics Resumen*. 10(2).
- Baierlein, R. (1994). Entropy and the second law: A pedagogical alternative. *American Journal of Physics*, 62(1), 15–26. <https://doi.org/10.1119/1.17732>
- Bonwell, C. C., & Eison, J. A. (1991). *ERIC Clearinghouse on Higher Education*.
- Brame, C. J. (2022). *Active Learning*.

- Campión, R. S. (2019). Conectando el modelo Flipped Learning y la teoría de las inteligencias múltiples a la luz de la taxonomía de Bloom. *Magister*, 31(2), 45–54.
- Chang, R. (2002). Química General 7Th Edicion.pdf. In *McGrawHill* (pp. 1–1004).
- Collazos, C. (2006). How to take advantage of “ cooperative learning ” in the classroom. *Educación y Educadores, Volumen 9*(4128), 61–76.
- Dittrich, W., Drosd, R., Minkin, L., & Shapovalov, A. S. (2016a). The Law of Entropy Increase – A Lab Experiment. *The Physics Teacher*, 54(6), 348–350. <https://doi.org/10.1119/1.4961176>
- Dittrich, W., Drosd, R., Minkin, L., & Shapovalov, A. S. (2016b). The Law of Entropy Increase – A Lab Experiment. *The Physics Teacher*, 54(6), 348–350. <https://doi.org/10.1119/1.4961176>
- Donnelly, J., & Hernández, F. E. (2018). Fusing a reversed and informal learning scheme and space: student perceptions of active learning in physical chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 19(2), 520–532. <https://doi.org/10.1039/C7RP00186J>
- Dos Santos Belmonte, I., Borges, A. V., & Garcia, I. T. S. (2022). Adaptation of Physical Chemistry Course in COVID-19 Period: Reflections on Peer Instruction and Team-Based Learning. *Journal of Chemical Education*, 99(6), 2252–2258. [https://doi.org/10.1021/ACS.JCHEMED.1C00529/SUPPL\\_FILE/ED1C00529\\_SI\\_002.DOCX](https://doi.org/10.1021/ACS.JCHEMED.1C00529/SUPPL_FILE/ED1C00529_SI_002.DOCX)
- Engel, T., & Reid, P. (2021). Physical chemistry, Statistical thermodynamics and Kinetics. In Pearson Education Limited (Ed.), *Pearson Education Limited*. Pearson Education Limited.
- Espinosa, C. (2009). Taxonomía De Bloom Para La Era Digital. *Eduteka*, 1, 1–13.
- Esteban, J., & Echavarría, A. (2022). *Desarrollo De Competencias Y Matemática De Los Gases Ideales*.
- Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(23), 8410–8415.

[https://doi.org/10.1073/PNAS.1319030111/SUPPL\\_FILE/PNAS.1319030111.S T04.DOCX](https://doi.org/10.1073/PNAS.1319030111/SUPPL_FILE/PNAS.1319030111.S T04.DOCX)

- Fry, H., Ketteridge, S., & Marshall, S. (2009). A Handbook for Teaching and Learning in Higher Education: Enhancing Academic Practice, Third edition. In *Taylor and Francis Group: Vol. 3d edition* (3rd ed.). Taylor and Francis Group.
- Garriz-Ruiz, A., & Mateos-Gómez, J. L. (2015). *Historia de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México. Su primer siglo: 1916 - 2016* (Universidad Nacional Autónoma de México, Ed.; 1st ed.). UNAM.
- Guggenheim, E. A. (1959). Prinzipien der Thermodynamik und Statistik / Principles of Thermodynamics and Statistics. In S. Flügge (Ed.), *Springer Berlin Heidelberg: Vol. 2 / 3 / 2* (1st ed.). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-45912-2>
- Henne, A., Möhrke, P., Huwer, J., & Thoms, L. J. (2023). Learning Science at University in Times of COVID-19 Crises from the Perspective of Lecturers—An Interview Study. *Education Sciences 2023, Vol. 13, Page 319, 13(3)*, 319. <https://doi.org/10.3390/EDUCSCI13030319>
- Juan Antonio Anta, Sofía Calero, A. C. (2020). *Termodinámica y cinética química para ciencias de la vida y del medioambiente*. [https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=\\_ORWEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=termodinámica+y+problemas+ambientales&ots=8tiBbrC65a&sig=KZBkzeigpNWcy2NNqfUdP2Srebw&redir\\_esc=y#v=onepage&q=termodinámica+y+problemas+ambientales&f=false](https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=_ORWEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=termodinámica+y+problemas+ambientales&ots=8tiBbrC65a&sig=KZBkzeigpNWcy2NNqfUdP2Srebw&redir_esc=y#v=onepage&q=termodinámica+y+problemas+ambientales&f=false)
- Masapanta, S., & Velázquez, J. Á. (2017). Una revisión sistemática del uso de la taxonomía de Bloom en la enseñanza de la informática. *TICAI 2017: TICs Para El Aprendizaje de La Ingeniería*, 294–299.
- Salvo-Garrido, S., Sagner-Tapia, J., Bravo-Sanzana, M., & Torralbo, C. (2022). Profiles of Good Teaching Practices in STEM Disciplines: An Analysis of Mixed Methods of Academic and Assessment Variables of Teaching in the First Cycle of Civil Engineering. *Frontiers in Education*, 7, 849849. <https://doi.org/10.3389/FEDUC.2022.849849/BIBTEX>

- Selco, J. I. (2018). *Designing an Active Learning Physical Chemistry Course Using Best Practices* (pp. 115–130). <https://doi.org/10.1021/bk-2018-1279.ch008>
- UNESCO. (2021). *La garantía de la calidad en la educación*. <https://es.unesco.org/themes/educacion-superior/examen-politicas-calidad>
- UPTC Consejo Superior Consejo Académico y Decanos. (2015). Plan de Desarrollo Institucional 2015-2018. *Fecha de Divulgación* .
- Wieman, C. E. (2014). Large-scale comparison of science teaching methods sends clear message. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(23), 8319–8320. <https://doi.org/10.1073/PNAS.1407304111>

## Anexo I. Protocolos de prácticas de laboratorio

### Relación de las variables presión (presión de vapor), temperatura y volumen con la contaminación del suelo

#### OBJETIVO(S) ACADÉMICO(S)

Determinar experimentalmente el comportamiento de las variables Presión, Volumen y Temperatura del vapor de un líquido volátil (etanol o propanol).

Relacionar el comportamiento del vapor de un líquido volátil como contaminante del suelo y comprender sus implicaciones con el impacto ambiental.

#### PROBLEMA

El alumno identificará las consecuencias de la presencia de líquidos volátiles como contaminantes del suelo mediante la medición de las propiedades de un gas, presión, volumen, temperatura y su relación con las leyes empíricas de los gases.

#### REACTIVOS

Etanol	1 mL
Isopropanol	1 mL
Arena seca o en su defecto de sulfato de sodio anhidro	5 g

**EQUIPO** (enlistar en la tabla los equipos que se emplearán en la práctica)

Balanza
---------

#### MATERIAL

Manómetro en U	1	Pipeta 1 mL	1
Termómetro	1	Propipeta o jeringa con manguera	1
Matraz elermeyer de 25 mL con tapón de corcho	1	Espátula	1
Manguera	1	Vaso de precipitados de 150 mL	2
Tubo de vidrio o punta de pipeta	1	Vernier	1

## **DESARROLLO EXPERIMENTAL**

- A. Colocar 5 g de suelo seco o sulfato de sodio anhidro en un matraz Erlenmeyer de 25mL intentando generar una película en el fondo del matraz lo más uniforme posible.
- B. Conectar al tapón de corcho un tubo de vidrio o una punta de pipeta que lo atraviese. Conectar al tubo o a la punta de pipeta la manguera del manómetro de U.
- C. Adicionar sobre el sulfato de sodio o suelo 1mL de algún solvente orgánico (acetona, etanol, isopropanol o hexano) y cerrar inmediatamente con el tapón corcho conectado al manómetro de U.
- D. Se dejará reposar la muestra en el matraz (5 minutos a temperatura ambiente) para que se estabilice la presión.
- E. Enseguida se procederá a sumergir el matraz Erlenmeyer con la muestra en el baño de hielo. Esperar 2 minutos y registrar las alturas de las ramas del manómetro de U así como la temperatura del baño de agua – hielo.
- F. Se repetirá el paso anterior con la diferencia de que se adicionará una pequeña cantidad de agua tibia al baño de hielo – agua. Nuevamente, esperar 2 minutos y registrar las alturas de las ramas cerrada y abierta del manómetro de U así como la temperatura del baño de agua. Este paso se repetirá cinco veces más a 5 diferentes temperaturas del baño de agua cuidando de no exceder los 40°C. Se recomienda usar incrementos de 5°C en la temperatura del baño entre cada evento.
- G. Al finalizar, con ayuda del vernier, determinar el diámetro interno de la tubería del manómetro de U para determinar el volumen de líquido desplazado en cada experimento.
- H. Con un barómetro registrar la presión atmosférica. Si no cuenta con barómetro puede consultar la presión atmosférica reportada por la estación meteorológica más cercana (CCA) en la página [www.aire.cdmx.gob.mx](http://www.aire.cdmx.gob.mx)

## **MANEJO DE DATOS Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS**

Registrar los resultados de las mediciones de presión, temperatura y volumen en tu bitácora.

- I. Calcula la presión absoluta con las temperaturas absolutas en cada experimento.
- II. Con los datos construye las gráficas P(T), P(V) y V(T) y determina su relación con las leyes empíricas de los gases.
- III. Discute con tus compañeros las implicaciones ambientales que puede tener un suelo contaminado con sustancias volátiles. Involucra las observaciones que hiciste en el experimento

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Engel T., Reid P. Physical Chemistry. Chapter 1 Fundamental Concepts of Thermodynamics. Pearson 3<sup>rd</sup> edition, 2013, pp. 1 – 12.

## ANEXO

### I.- Conocimientos previos

- ¿Qué es la presión atmosférica y de qué depende su magnitud?
- ¿Cómo se define presión? Indique cuáles son sus unidades y qué tipos de presión existen.
- ¿Qué es la temperatura? Indique sus unidades
- ¿Qué es el volumen? Indique sus unidades
- ¿Qué explican las leyes empíricas de los gases con respecto a las propiedades de un gas?
- ¿Qué es una sustancia volátil?
- ¿Qué es un contaminante y qué contaminantes conoces para el suelo?

### II.- Cuestionario

- ¿Cómo se relacionaron las variables P, V y T para el vapor formado durante el experimento?
- ¿Cómo fue el comportamiento en las gráficas PV(V), P/T(T), V/T(T) y cómo se relacionan estas con las leyes empíricas de los gases?
- De acuerdo con tus observaciones ¿Qué impacto puede tener el derrame de contaminantes como líquidos volátiles sobre el suelo?
- Si tuvieras que remediar un suelo contaminado por el derrame de petróleo y/o sus derivados ¿Qué precauciones tomarías para un menor manejo de la situación? Considera las observaciones que hiciste en tus experimentos

### Aplicación del lenguaje termodinámico

- ¿Cuál es el sistema en el diseño experimental que desarrollaste?
- ¿Cuáles son los instrumentos de medición que empleaste?
- ¿De dónde proviene y hacia donde se transfiere la energía involucrada en el experimento?
- En un derrame de sustancias volátiles real en el suelo ¿Qué propiedades emplearías para determinar la severidad del derrame en función de la dispersión del contaminante?

### **III.- Preparación de reactivos**

No aplica

### **IV.- Disposición de residuos**

Los sólidos empleados se colectan en un frasco cerrado para su reutilización

### **V.- Reglamento de Higiene y Seguridad para los Laboratorios de la Facultad de Química.**

<https://quimica.unam.mx/proteccion-civil-facultad-quimica/reglamento-higiene-seguridad-laboratorios-la-facultad-quimica/>

### **VI.- Reglamento para los Estudiantes y Profesores de los Cursos Experimentales del Departamento de Físicoquímica**

<https://quimica.unam.mx/wp-content/uploads/2016/02/RIHyS-FQ-Final.pdf>

## Relación entre la Temperatura y la Capacidad Térmica con el Calentamiento Global y el Efecto Invernadero

### ➤ OBJETIVO(S) ACADÉMICO(S)

Comprender los conceptos de temperatura, su relación con la capacidad térmica y el calor.

Identificar cuáles son los gases de invernadero más importantes, así como su importancia para el planeta.

### ➤ PROBLEMA

Determinar la cantidad de calor absorbida por diferentes gases de una misma fuente de radiación térmica

### ➤ REACTIVOS

Dióxido de Carbono sólido (hielo seco)	Aire
Ozono gaseoso	Nitrógeno gaseoso

### ➤ EQUIPO

Generador de ozono	Flujómetro de gases
Termómetro digital	

### ➤ MATERIAL

Tubería de silicona y/o teflón	Tapón de hule		
Matraz de bola con fondo plano de 100 mL	Válvula de dos o tres vías		
Soporte universal	1	Cinta métrica o regla	1
Fuente de radiación (foco con socket)	1	Pinza de tres dedos	2
Termómetro Digital	1	Válvulas de 3 vías.	2
Agujas color verde (mayores a 20G de diámetro)	2	Manguera	2
Matraz de bola con fondo plano de 100 mL con tapón de corcho	1		

➤ **DESARROLLO EXPERIMENTAL**

- A. En un soporte universal con pinzas de tres dedos, sujetar una lámpara incandescente de luz infrarroja o de resistencia de tungsteno y a 10 centímetros de este sujetar un matraz de bola. Ver Figura 1 izquierda.
- B. Introducir en el tapón de hule las dos puntas de jeringa, asegurando que atraviesen todo el tapón y que no estén obstruidas al paso de aire. En una de las puntas conectar la tubería de entrada de gas, mientras que en la otra se conecta la tubería de purga. Ver Figura 1 derecha. Colocar el tapón al matraz de bola.
- C. Conectar una llave de paso a cada una de las tuberías de entrada y purga de gas. Mantenerlas abiertas hasta el punto en el que se llene el matraz de gas, esto sucede aproximadamente después de 30 segundos a 1 minuto de pasar gas por las tuberías y el matraz.
- D. Para llenar el matraz con el gas de cada experimento, se hace fluir el gas a menos de 1 L/min por máximo 30 segundos a través de la tubería de entrada, pasado este tiempo cerrar la fuente de gas y al mismo tiempo cerrar las válvulas de paso conectadas a las tuberías. A continuación, se describen algunas consideraciones especiales para cada gas de prueba.

Aire, oxígeno o nitrógeno: No se necesita ninguna consideración especial.

Dióxido de carbono: La fuente de este gas es hielo seco, el cual debe ser colocado en un matraz con un tapón de hule, este último tendrá una punta de jeringa conectada con la tubería de la entrada de gas del experimento. Para favorecer la sublimación y el flujo de CO<sub>2</sub> gaseoso es recomendable añadir un poco de agua (aproximadamente 20 mL) al matraz que contiene el hielo seco antes de taponarlo. No tocar el hielo seco directamente con las manos, puede causar quemaduras.

Ozono: Este gas es sumamente corrosivo y tiene una toxicidad elevada (revisar hoja de seguridad). Evite todo contacto con este gas, manéjese dentro de una campana de extracción, debe asegurarse de la ausencia de fugas en su diseño experimental antes de usar este gas. El ozono se genera a través de la reacción entre moléculas de oxígeno molecular al pasar a través de una red de alto voltaje. La purga de gas

del dispositivo experimental debe ir hacia la campana o en su defecto a un depurador de ozono (trampa de carulita o de yoduro de potasio).

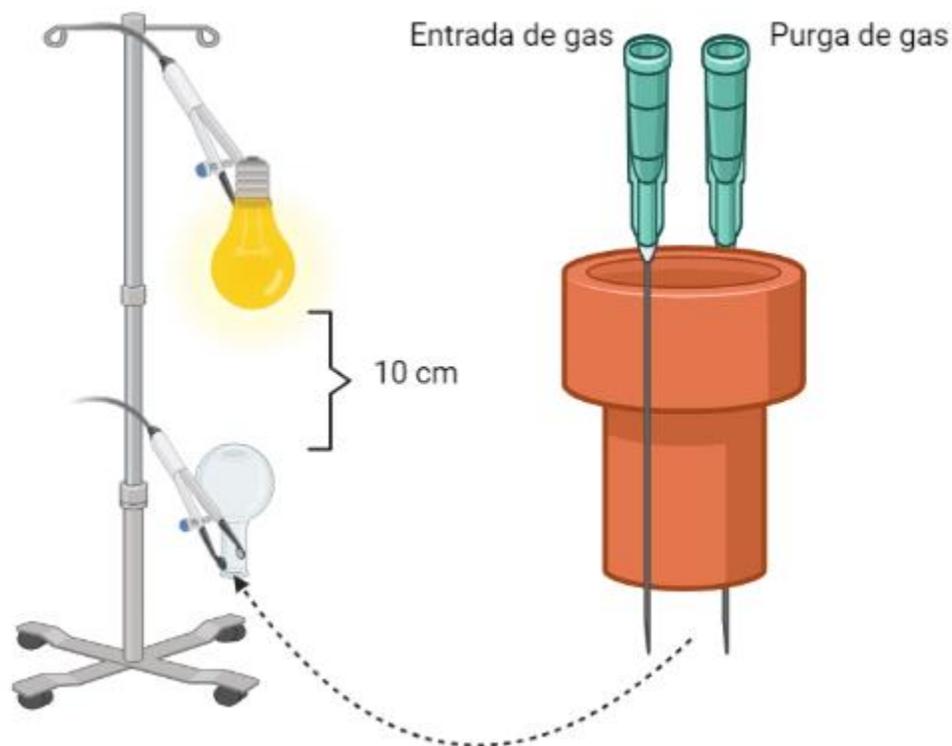


Figura 1. Izquierda: Montaje experimental de una fuente de calor y un matraz contenedor de gas. Derecha: Tapón de hule con dos puntas de jeringa para la entrada y salida de gas

#### E. Calentamiento

El proceso de calentamiento empezará en el momento en que empiece la radiación. El proceso debe durar exactamente 10 minutos y se debe monitorear. El monitoreo consiste en tomar registro de temperatura cada 10 segundos. El proceso de calentamiento termina al apagar el foco o desconectar o colocar el switch en modo apagado (Off).

## MANEJO DE DATOS Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS

- I. Registrar en la Tabla 1 los tiempos en segundos y las temperaturas que se obtuvieron. Note que para cada gas requerirá una tabla. Busque en la literatura el valor de la capacidad térmica específica y la densidad del gas que usó en su experimento y estime al calor absorbido por el gas como:

$$Q_{abs} = c\Delta T$$

Donde:  $Q_{abs}$  es el calor absorbido por el gas,  $c$  es la capacidad térmica específica del gas (véase Tabla 2), y  $\Delta T$  es la diferencia de temperatura entre cada intervalo de 10 s medido en el experimento con respecto a la temperatura inicial del gas.

Tabla 1. Registro de datos del cambio de temperatura de gases expuestos a una lámpara incandescente

Tiempo (s)	Temperatura (°C)	$\Delta T$ (°C) $T - T_0$	$Q_{abs}$ (J/mol)
0	Temperatura inicial $T_0$	0	
10			
20			
30			
...			

Tabla 2. Capacidades térmicas específicas de los gases empleados

Gas	Capacidad térmica específica $J K^{-1} mol^{-1}$
Ozono	39.22
Nitrógeno	29.12
Dióxido de carbono	37.22
Oxígeno	29.39

- II. Construya las gráficas  $\Delta T$  en función del tiempo y  $Q_{abs}$  en función del  $\Delta T$ . Observe las tendencias de la gráfica de cada gas y discuta con sus compañeros, el por qué de ello con respecto a las propiedades de un gas de efecto invernadero.

### ➤ REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Engel T., Reid P. Physical Chemistry. Chapters 2.3 Heat and 2.5. Heat capacity. 3<sup>rd</sup> edition, Pearson, 2013, pp 21 – 28.

## **ANEXO**

### **I.- Conocimientos previos**

- a) ¿Qué es la temperatura? ¿Puede usted medir el calor con un termómetro?  
¿Por qué?
- b) ¿Qué es la capacidad térmica?
- c) Para un material con una alta capacidad térmica, ¿Cómo será el aumento de temperatura para una misma fuente de calor en comparación con un material con baja capacidad térmica?
- d) ¿Qué es el efecto invernadero? ¿Qué gases favorecen el efecto invernadero?
- e) ¿Qué es el calentamiento global? ¿Qué gases favorecen el calentamiento global en la atmósfera?

### **II.- Cuestionario posterior al experimento**

- a) ¿Cuáles de los gases tuvo un mayor incremento de la temperatura y cuáles el menor?
- b) ¿Cuáles gases demorarán más tiempo en regresar a la temperatura ambiente?
- c) ¿Cuál de los gases con los que se experimentó se puede decir que tiene mayor relevancia con el efecto invernadero y el calentamiento global? ¿por qué?  
¿Cómo lo puede deducir de la gráfica que construyó?
- d) ¿Qué influencia tiene la capacidad térmica en el calentamiento global o el efecto invernadero?
- e) ¿Qué acciones puede tomar en su vida diaria para disminuir el impacto de sus actividades en el calentamiento global y el efecto invernadero?

### **III.- Preparación de reactivos\***

La generación de ozono se debe llevar a cabo por el docente en turno o alguien capacitado en el equipo.

### **IV.- Disposición de residuos**

Todos los gases se pueden liberar a la atmósfera, excepto el ozono que debe pasar a través de una trampa de carulita o de yoduro de potasio.

### **V.- Reglamento de Higiene y Seguridad para los Laboratorios de la Facultad de Química.**

<https://quimica.unam.mx/proteccion-civil-facultad-quimica/reglamento-higiene-seguridad-laboratorios-la-facultad-quimica/>

### **VI.- Reglamento para los Estudiantes y Profesores de los Cursos Experimentales del Departamento de Fisicoquímica**

<https://quimica.unam.mx/wp-content/uploads/2016/02/RIHyS-FQ-Final.pdf>

## Entropía como dispersor de la energía

### ➤ OBJETIVO(S) ACADÉMICO(S)

Comprender el concepto de entropía asociándola como una medida de energía dispersada a una temperatura específica y como criterio de espontaneidad.

### ➤ PROBLEMA

Estimar el valor de la entropía y como se ve alterada de acuerdo con la interacción entre diferentes sistemas.

### ➤ REACTIVOS

Agua	100 mL
Arena	15 g en porciones de 5 g
Metal en partes pequeñas	15 g en porciones de 5 g

### ➤ EQUIPO

Balanza digital
Termómetro digital
Cronometro

### ➤ MATERIAL

Probeta de 100mL
Vaso de unicel con tapa
Resistencia eléctrica
Vaso de precipitados 500 mL
Vaso de precipitados 150 mL

### ➤ DESARROLLO EXPERIMENTAL

1. Pesar 15 g de arena en tres porciones de 5 gramos.
2. Verter 150 mL de agua a una temperatura alrededor de 70°C en un vaso de unicel y enseguida tapar colocando el termómetro digital encendido en la tapa del vaso.
3. Medir y registrar la temperatura con el termómetro digital cada 10 segundos. Después de 1 minuto, agregar la primera porción de arena levantando

- brevemente la tapa y volviéndola a colocar tras la adición. Agitar el recipiente suavemente. Continúe registrando la temperatura cada 10 segundos.
4. Al minuto 3 agregar la segunda porción de 5 gramos de arena al vaso con agua caliente. Continuar registrando la temperatura cada 10 segundos hasta completar 5 minutos.

### MANEJO DE DATOS Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS

Registrar sus resultados en la Tabla 1. Calcule el cambio de entropía (Ecuación 1) para cada registro de temperatura. Recuerde que, para el cálculo de calor, la temperatura inicial siempre será aquella con la que inició el experimento. En el cálculo de entropía se asume que el calor intercambiado es de tipo reversible.

Tabla 1. Registro de datos del experimento

Tiempo (s)	Temperatura (K)	Cambio de entropía del agua (J/K)	Cambio de entropía de la arena (J/K)	Cambio de entropía total (J/K)
0	$T_0 =$			
10				
20				
...				
60 (adición de arena)				
70				
80				
...				
180 (adición de arena)				

$$\Delta S_{total} = \Delta S_{sistema} + \Delta S_{alrededores} = -n_{H_2O} c_{H_2O} \ln \frac{T_f}{T_0} + n_{arena} c_{arena} \ln \frac{T_f}{T_0} \quad (1)$$

La capacidad térmica específica del agua es  $4.184 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$  y la capacidad térmica específica de la arena es de  $0.830 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ . Para determinar la cantidad de materia de arena, se usa una masa molar aparente de  $60.09 \text{ g mol}^{-1}$ . En una sola gráfica, mostrar el cambio de temperatura y de entropía a través del tiempo.

➤ **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Engel T., Reid P. Physical Chemistry. Chapter 5 Entropy and the Second and Third Laws of Thermodynamics. Pearson 3<sup>rd</sup> edition, 2013, pp. 85 – 118
- Dittrich, W., Drosd, R., Minkin, L., & Shapovalov, A. S. (2016). The Law of Entropy Increase – A Lab Experiment. *The Physics Teacher*, 54(6), 348–350. <https://doi.org/10.1119/1.4961176>
- Rapf, M., & Kranert, M. (2021). Irreversible entropy to account for environmental impacts and sustainability. *Procedia CIRP*, 98, 601–606. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2021.01.161>
- Liberko, C., & Terry, S. (2001). A Simplified Method for Measuring the Entropy Change of Urea Dissolution. An Experiment for the Introductory Chemistry Lab. *Journal of Chemical Education*, 78(8). <https://doi.org/10.1021/ed078p1087>

## **ANEXO**

### **I.- Conocimientos previos**

1. ¿Qué significa que un proceso sea espontáneo?
2. ¿Cómo podemos saber que un proceso es espontáneo?
3. ¿Qué es entropía y cuál es su interpretación de este concepto?
4. ¿Qué indica la segunda ley de la termodinámica?
5. ¿Cómo se relaciona la segunda ley de la termodinámica con el concepto de entropía?
6. ¿Qué indica la tercera ley de la termodinámica?

### **II.- Cuestionario**

1. ¿Por qué la entropía de procesos espontáneos aumenta?
2. De la energía total que participa en un proceso ¿en dónde participa la entropía?
3. De acuerdo con la gráfica obtenida con sus resultados ¿Qué ocurrió con la magnitud de la entropía con el paso del tiempo? ¿por qué?
4. De acuerdo con sus observaciones experimentales ¿Qué ocurrirá con la magnitud de la entropía en la interacción entre ecosistemas acuáticos, terrestres y aéreos?
5. ¿Es posible aprovechar como trabajo a la entropía?

### **III.- Preparación de reactivos\***

No aplica

### **IV.- Disposición de residuos**

No aplica

### **V.- Reglamento de Higiene y Seguridad para los Laboratorios de la Facultad de Química.**

<https://quimica.unam.mx/proteccion-civil-facultad-quimica/reglamento-higiene-seguridad-laboratorios-la-facultad-quimica/>

### **VI.- Reglamento para los Estudiantes y Profesores de los Cursos Experimentales del Departamento de Físicoquímica**

<https://quimica.unam.mx/wp-content/uploads/2016/02/RIHyS-FQ-Final.pdf>

## **Anexo II. Cuestionarios de evaluación del aprendizaje**

### **Relación de las variables presión (presión de vapor), temperatura y volumen con la contaminación del suelo**

1. ¿Cómo definiría un gas?
2. ¿Qué es un contaminante?
3. De acuerdo con las leyes empíricas de los gases, si la magnitud de la presión externa que se ejerce sobre un gas se incrementa ¿su volumen?
4. De acuerdo con las leyes empíricas de los gases, si la magnitud de la temperatura de un gas se incrementa, ¿Su volumen?
5. De acuerdo con las leyes empíricas de los gases, si la magnitud de la presión externa que se ejerce sobre un gas se incrementa, ¿Su temperatura?:
6. Si ocurre un derrame de sustancia volátil sobre el suelo, ¿qué estrategia seguiría para amortiguar el daño posible a los diferentes ambientes?
7. De acuerdo con lo que sabe de las relaciones empíricas de los gases y la contaminación ¿En qué matriz un contaminante volátil tendrá la mayor área de impacto?

### **Relación entre la Temperatura y la Capacidad Térmica con el Calentamiento Global y el Efecto Invernadero**

Las preguntas de este cuestionario fueron:

1. ¿Qué es temperatura?
2. ¿Qué es calor?
3. ¿Qué es la capacidad térmica específica de una sustancia?
4. De acuerdo con lo que ha aprendido de los conceptos anteriores ¿Cuál de estos gases posee una mayor capacidad térmica específica?

5. ¿Qué es un gas de efecto invernadero?

**Entropía como dispersor de la energía**

1. ¿De qué trata la segunda ley de la termodinámica?

2. ¿Qué es Entropía?

3. ¿En un proceso que ocurre con la magnitud de la entropía?

4. ¿En un proceso cíclico ¿Qué magnitud tendrá el cambio de la entropía  $\Delta S$ ?

5. De acuerdo con lo que sabe de entropía ¿Qué ocurre con su magnitud cuando dos ecosistemas (Acuáticos, terrestres y aéreos) interactúan entre sí?

## Anexo III. Rúbrica de evaluación

Desarrollo del contenido del informe:

- Se recomienda solicitud de los informes con escritura manuscrita
- La estructura sugerida es Título, Objetivos, Cuestionario previo, Resultados y análisis, Cuestionario posterior, Conclusión y Bibliografía
- Las respuestas de los cuestionarios deben indicar las citas con formato de número

Aspecto de evaluación	No satisfactorio (0 puntos)	Insuficiente (0.25 puntos)	Regular (0.5 puntos)	Bien (0.75 puntos)	Excelente (1 punto)	Puntos máximos
<b>Estructura</b>	No la sigue	No presenta alguno de los elementos del informe	Presenta los elementos del informe de manera desorganizada	La estructura es ordenada pero incompleta parcialmente en alguna de sus partes	La estructura es ordenada, contiene todos los elementos y es clara	1
<b>Redacción y ortografía</b>	No aplica	El trabajo escrito presenta muchos errores ortográficos, gramaticales y de expresión.	El trabajo escrito presenta unos cuantos errores ortográficos, gramaticales y de expresión.	El trabajo escrito presenta algún error ortográfico, gramatical o de expresión muy puntual.	Está redactado de forma clara, construyendo frases sintácticamente correctas, sin errores ortográficos mayores y usando adecuadamente los signos de puntuación.	1
<b>Fuentes de información</b>	No están disponibles en el documento	Solo maneja información procedente de internet que no es fiable ni apropiada. No usa un sistema de citación y no la integra adecuadamente a lo largo del trabajo.	La bibliografía es muy básica. No usa un sistema de citación y no siempre se integra adecuadamente a lo largo del trabajo.	La bibliografía es de interés para el trabajo, pero incompleta. El trabajo presenta algunos fallos en el sistema de citación o en la integración de las referencias bibliográficas en el trabajo escrito.	La bibliografía es la esencial e importante. Usa las referencias bibliográficas de forma correcta y en el momento apropiado durante el trabajo escrito.	1
<b>Respuestas del cuestionario previo</b>	No están disponibles en el documento	Responde parcialmente o solo algunas preguntas, responde de manera incorrecta y no presenta citas	Responde de manera incorrecta algunas de las preguntas o no responde todas las preguntas. Presenta citas	Responde correctamente a la mayoría de las preguntas y cita adecuadamente sus respuestas	Responde correctamente a la totalidad de las preguntas y usa citas adecuadas	1
<b>Documentación de resultados</b>	No están disponibles en el documento	Falta documentación gráfica básica o cálculos para la definición formal del tema	La documentación gráfica y los cálculos presentan errores relevantes o muy frecuentes	Complementa la documentación escrita y aporta los documentos necesarios para la definición formal del tema, pero parte de esa documentación presenta algún error de carácter menor.	Complementa perfectamente la documentación escrita, aportando los documentos necesarios para la definición formal del tema. Toda la documentación es correcta	1
<b>Análisis de resultados</b>	No disponible en el documento	Los resultados reflejan pobremente la idea, careciendo de la calidad mínima deseable para ese tipo de producto.	Los resultados reflejan aceptablemente la idea, pero varios detalles- algunos relevantes podrían haber sido refinados para una correcta resolución.	Los resultados son idóneos y reflejan adecuadamente la propuesta, pero algún detalle no relevante podría haber sido refinado para una mejor resolución.	Los resultados son claros, reflejando excelentemente la idea; además, la calidad es sobresaliente para este tipo de producto.	1
<b>Respuestas del cuestionario posterior</b>	No están disponibles en el documento	Responde parcialmente o solo algunas preguntas, responde de manera incorrecta y no presenta citas	Responde de manera incorrecta algunas de las preguntas o no responde todas las preguntas. Presenta citas	Responde correctamente a la mayoría de las preguntas y cita adecuadamente sus respuestas	Responde correctamente a la totalidad de las preguntas y usa citas adecuadas	1
<b>Elaboración de conclusiones</b>	No disponible en el documento	Las conclusiones no se vinculan con los objetivos declarados o con la información que se maneja.	Las conclusiones tienen que ver poco con los objetivos declarados o la información manejada en el trabajo.	Las conclusiones parten de los objetivos o de la información analizada; sin embargo, son parciales, están incompletas o están poco definidas.	Las conclusiones son adecuadas con los objetivos declarados y los resultados obtenidos. Son relevantes al tema de trabajo.	1
<b>Resultados de los cuestionarios digitales (posteriores a la práctica)</b>	No respondió o todas las respuestas fueron incorrectas	Respondió correctamente a una de las preguntas	Respondió correctamente a dos o tres de las preguntas	Respondió correctamente a cuatro de las preguntas	Respondió correctamente todas las preguntas	1
<b>Manipulación experimental</b>	No participa	Maneja únicamente el material más sencillo o colabora poco con sus compañeros	Maneja el material disponible, pero pone poco cuidado en la manipulación y colabora con sus compañeros	Maneja el material adecuadamente, pero comparte poco las actividades	Maneja adecuadamente el material y comparte equitativamente las actividades	1
<b>Calificación global</b>						<b>10</b>