

Unidad 3 - Reacciones químicas: espontaneidad y cinética

Propósito de la unidad

Estimar cómo intervienen las variables termodinámicas y cinéticas en un sistema en estudio a partir del control, Los alumnos deben ofrecer criterios evaluativos y predictivos para controlar los efectos y sus interacciones con el entorno. Se espera que entiendan que el análisis termodinámico y cinético de una reacción establece un perfil energético de intervención sobre un sistema en estudio. Pueden guiarse por preguntas como las siguientes: ¿Cuál es la relación entre espontaneidad y la inmediatez de una reacción química? ¿Cómo permiten las propiedades cinéticas y termodinámicas de un contaminante, predecir su persistencia y degradación?

Objetivos de Aprendizaje

OA 3

Argumentar y comunicar, con base en evidencia científica, cómo la termodinámica y la cinética de reacciones químicas contribuyen a comprender el funcionamiento de los sistemas naturales y sus respuestas a cambios ejercidos sobre estos.

OA 5

Analizar el origen, las vías de exposición, los efectos y las propiedades de contaminantes químicos provenientes de actividades domésticas e industriales (como minería, agricultura y desarrollo urbano) sobre los sistemas naturales y los servicios ecosistémicos que estos brindan a las personas y a la sociedad.

OA b

Planificar y desarrollar investigaciones que permitan recoger evidencias y contrastar hipótesis, con apoyo de herramientas tecnológicas y matemáticas.

OA f

Desarrollar y usar modelos basados en evidencia, para predecir y explicar mecanismos y fenómenos naturales.

OA h

Evaluar la validez de información proveniente de diversas fuentes, distinguiendo entre evidencia científica e interpretación, y analizar sus alcances y limitaciones.

Actividad 1. La contaminación con lentes termodinámicos

PROPÓSITO

Comprobar los principios termodinámicos implicados en la primera ley en contexto de aplicación conocido, mediante el uso de datos y resultados.

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

OA 3

Argumentar y comunicar, con base en evidencia científica, cómo la termodinámica y la cinética de reacciones químicas contribuyen a comprender el funcionamiento de los sistemas naturales y sus respuestas a cambios ejercidos sobre estos.

OA b

Planificar y desarrollar investigaciones que permitan recoger evidencias y contrastar hipótesis, con apoyo de herramientas tecnológicas y matemáticas.

OA f

Desarrollar y usar modelos basados en evidencia, para predecir y explicar mecanismos y fenómenos naturales.

ACTITUDES

Pensar con consciencia, reconociendo que los errores ofrecen oportunidades para el aprendizaje.

DURACIÓN

10 horas pedagógicas

DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD

Observaciones al docente:

Es importante reforzar los aprendizajes logrados en 1° medio y 8° básico relativos a enlace químico, balance de ecuaciones químicas y tipos de reacciones químicas, en especial la combustión. Asimismo, conviene recordar lo trabajado en 7° básico sobre las leyes de los gases ideales.

Los alumnos leen el texto ubicado después de las preguntas y analizan la información:

- ¿Cuál es el significado de la frase “se presenta como gas en condiciones de temperatura y presión normales”? Se refieren a diagramas de fase y estado termodinámico de un sistema en estudio.
- Explican por qué se afirma que el proceso no es favorable termodinámica al comienzo y se requiere una llama o chispa para que ocurra la reacción de combustión del metano.
- Completan la tabla siguiente para representar la combustión del metano. Extraen el valor de la entalpía de tablas termodinámicas:

Tabla 1: Reacción de combustión de metano

	CH ₄ (g)	O ₂ (g)	→	CO ₂ (g)	H ₂ O (g)
Coefficiente estequiométrico					
Fórmula estructural					
Modelo CPK					
Polaridad de enlace					
ΔH _f ^o (kJ/mol) (extraen de tablas)					

Aprendiendo más del metano

El metano, conocido por su fórmula CH₄, es un gas inodoro, incoloro y poco soluble en agua, cuyo uso es masivo y cotidiano; se presenta en forma de gas, a una temperatura y presión normales.

Conocido también como “gas natural”, abunda en los depósitos subterráneos y bajo el lecho marino. Surge como producto final en las plantas tras la putrefacción anaeróbica; ese mismo proceso se usa para producir biogás. También se encuentra en las minas de carbón; ahí se lo llama “gas grisú” y es bastante peligroso, porque se inflama con facilidad y, por lo tanto, es explosivo.

El metano es una de las principales fuentes de energía térmica actuales. Ni olfato ni vista lo captan, por lo que se le suele agregar otros compuestos orgánicos azufrados –de un olor bastante intenso– antes de que enviarlo a los consumidores, de manera que se pueda detectar un posible escape.

La reacción de combustión del metano ha sido un reto para los químicos, pues ese gas es cinéticamente estable a la oxidación, igual que otros miles de compuestos derivados del carbono y el hidrógeno. Sin embargo, desde el punto de vista de la termodinámica, esa reacción no es favorable por sí misma, pues hay que aplicar una llama o chispa para que ocurra, lo que contrasta bastante con otros compuestos.

Otro punto importante es que el metano es uno de los gases de efecto invernadero que contribuye al calentamiento global.

Tabla 1: Reacción de combustión de metano

	CH ₄ (g)	O ₂ (g)	→	CO ₂ (g)	H ₂ O (g)
Coefficiente estequiométrico					
Fórmula estructural					
Modelo CPK					
Polaridad de enlace					
ΔH_f° (kJ/mol) (extraen de tablas)					

Observaciones al docente:

Se sugiere explicar qué es la entalpía de formación y los tres métodos para calcular la entalpía de reacción (a partir de entalpías de formación, de energías de enlace y de la ley de Hess).

Los alumnos estiman los valores y las correlaciones termodinámicas del sistema en estudio:

- Interpretan la tabla anterior y responden: ¿hay alguna relación entre la estructura y el ΔH_f° (kJ/mol) en cada especie química participante? ¿Se podría establecer una correlación entre estructura-polaridad y, a su vez, polaridad-energía?
- Usando los siguientes datos, calculan el valor de la entalpía de la reacción a partir de las energías de enlace.

Tabla 2: Energía de Enlace en kJ/mol

Enlace	Energía de enlace EE (kJ/mol)
C-H	413
O=O	494
C=O	801
H-O	482

- Estiman valores termodinámicos con un método matemático por etapas, discuten al respecto y extraen conclusiones.

- Otra forma de calcular la entalpía de combustión del gas metano es a partir de los valores de entalpía de combustión correspondientes a las reacciones sucesivas siguientes. Usan los siguientes datos y calculan el ΔH_{rx} :

Tabla 3: Reacciones sucesivas para cálculo por Ley de Hess

$C_{(grafito)} + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)}$	$\Delta H_{rx} = -393,5 \text{ kJ/mol}$
$H_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow H_2O_{(l)}$	$\Delta H_{rx} = -285,9 \text{ kJ/mol}$
$C_{(grafito)} + H_{2(g)} \rightarrow CH_{4(g)}$	$\Delta H_{rx} = -74,8 \text{ kJ/mol}$

Considerando el ejercicio anterior, el curso argumenta sobre las preguntas y los desafíos siguientes y después comparten sus conclusiones:

- Analizan cada una de las ecuaciones químicas y corroboran si la estequiometría presentada corresponde a los valores de entalpía informados. Corrigen lo que corresponde.
- Construyen la ecuación de combustión de 1 mol de metano.
- Calculan la entalpía de combustión a partir de las entalpías de formación de cada sustancia. Comparan el valor arrojado con los que obtuvieron con los dos métodos anteriores.
- ¿Cómo se aplica la primera ley de la termodinámica para determinar la entalpía de combustión en los diferentes métodos trabajados?
- ¿Cuál es el fundamento termoquímico de la aplicación de la Ley de Hess y la Ley de Lavoisier-laplace en este caso?
- ¿Cómo se relaciona el estado físico con la energía de cada especie química?
- Comparan funciones de estado con funciones de proceso y analizan las diferencias.
- ¿Cómo se relaciona el calor con el concepto de entalpía en el sistema químico trabajado en el ejercicio anterior?
- ¿Qué propiedades termodinámicas tiene el metano que lo caracterizan como gas de efecto invernadero?
- ¿Qué influencia tiene la cantidad de sustancia en los valores de entalpía de una especie o sistema químico?

Observaciones al docente:

Para que los alumnos analicen las preguntas respecto de este tema, es fundamental:

- Reforzar el rol de los signos como una convención de lenguaje en el campo de la termoquímica, pues son esenciales para expresar el comportamiento de las variables termoquímicas de un sistema e interpretarlo.
- Enfatizar el rol de la estequiometría, dado que la mayor fuente de error en las estimaciones termoquímicas es la no igualación de reactivos y reactantes, además de las convenciones de signos.
- Recordar que la polaridad se puede considerar a nivel de enlace o molecular.
- Explicar que la relación entre polaridad se puede efectuar con las energías de enlace o de una reacción química.

Emisiones de metano

Siguiendo con el análisis del metano, ¿qué otros efectos tiene su uso?

Los estudiantes leen el artículo siguiente, publicado en 2016 por la revista Forbes:

“Gas metano contamina 84 veces más que el dióxido de carbono”

México, Canadá y Estados Unidos forman parte de los cinco países con mayores emisiones de metano, 84 veces más potente que el dióxido de carbono.

Imagen 1: Planta de emisiones de metano



Fuente: Forbes, México (2016). Recuperado de [www.curriculumnacional/link/https://www.forbes.com.mx/gas-metano-contamina-84-veces-mas-que-el-dioxido-de-carbono/](https://www.forbes.com.mx/gas-metano-contamina-84-veces-mas-que-el-dioxido-de-carbono/)

Aunque el gas natural se ha visto como una de las alternativas más amigables para el medioambiente en el proceso de transición energética, su fuga a la atmósfera es más dañina incluso que el dióxido de carbono (CO_2). Esto obedece a que el gas metano, que compone 95% de este energético, es un contaminante 84 veces más potente que el CO_2 ; por ende, contribuye mucho más al calentamiento global.

El metano, potente gas de efecto invernadero, es responsable del 25 % del calentamiento global actual, ya que las industrias petroleras y de gas representan la mayor fuente industrial de metano; así lo indica un estudio que hicieron el Centro Mario Molina, el Fondo de Defensa del Medio Ambiente y el Instituto Pembina sobre el impacto de ese gas en nuestro país, Canadá y Estados Unidos.

El análisis se refiere a “emisiones fugitivas de metano sin quemar, que se van básicamente cuando se hace mantenimiento a las tuberías, en fugas de tanques o cuando los quemadores (en la industria petrolera) no consumen completamente el gas y se fugan directamente a la atmósfera. El problema de las fugas de metano es que se trata de un gas de efecto invernadero mucho más poderoso”, explicó Francisco Barnés, director ejecutivo del Centro Mario Molina al presentar el documento.

Según el estudio, México, Canadá y Estados Unidos son tres de los cinco países con mayores emisiones de metano; en conjunto, representan casi 20 % de la contaminación global de metano proveniente de la industria petrolera y de gas.

En 2012 se escaparon cerca de 98 000 millones de metros cúbicos de metano de la cadena de suministro del petróleo y gas. Esta cantidad equivale a cerca de 3 % de la producción mundial de gas natural y su impacto climático a corto plazo es similar al que genera cerca de 40 % de la combustión global anual de carbón.

Para contrarrestar los efectos, Canadá y Estados Unidos están trabajando para reducir las emisiones de metano hasta 45% con regulaciones. Según los investigadores, “si México establece una meta similar respaldada por regulaciones, el efecto de toda Norteamérica en 20 años sería como remover 85 millones de automóviles de las calles (más del doble del total actual de automóviles en México). Reducir 45 % en las emisiones de gas metano de la industria del gas y el petróleo tiene el mismo impacto en el clima que cerrar una tercera parte de las plantas de carbón del mundo durante 20 años”.

El documento advierte que, si no se toma medidas, las emisiones globales de metano de la industria de petróleo y gas podrían aumentar casi 20 % para el año 2030, comparado con un aumento proyectado de 10 % de las emisiones de dióxido de carbono relacionadas con el uso de energía.

Observaciones al docente:

Se sugiere abordar el manejo y la descripción de las propiedades intensivas y extensivas de un sistema, con énfasis en la relación materia-energía (suelen ejemplificarse mediante reacciones con datos termodinámicos conocidos) para que los alumnos argumenten tras analizar los resultados.

A partir del texto, analizan juntos los siguientes tópicos y después diseñan un afiche y lo exponen ante sus pares:

- ¿Qué características de contaminante tiene el metano y cuál es su real peligro actual? (mencionan vías de exposición y fuentes).
- ¿Cuál o cuáles son las razones por las que el efecto contaminante del metano parece peor que el provocado por el dióxido de carbono?
- ¿Qué rol productivo tiene Chile con respecto al metano? Hacen una investigación bibliográfica sobre empresas y sistemas de producción de la localidad o el país.
- ¿Qué factores termoquímicos pueden intervenir o controlarse en el sistema de producción de metano para mitigar efectos contaminantes?
- ¿Cuáles son los mecanismos en sistemas naturales de producción de metano? ¿De qué modo se emplean como servicios ecosistémicos?

Observaciones al docente

Los siguientes indicadores de evaluación, entre otros, pueden ser utilizados para evaluar formativamente:

- Diseñan perfiles energéticos de reacciones, químicas empleando factores termodinámicos y cinéticos para diversos contextos.
- Aplican modelos matemáticos al impacto termodinámico y cinético de reacciones químicas en estudio.
- Evalúan implicancias éticas, ambientales y sociales de la producción y el uso de contaminantes.
- Diseñan investigaciones sobre aspectos termodinámicos y cinéticos de fenómenos naturales o artificiales.

Recursos y sitios web

- Página correspondiente al artículo de interés respecto del metano en Chile: www.curriculumnacional/link/http://www.economiaynegocios.cl/noticias/noticias.asp?id=483868
- Página de interés descriptivo sobre el metano: [www.curriculumnacional/link/https://www.greenfacts.org/es/glosario/mno/metano.htm](https://www.greenfacts.org/es/glosario/mno/metano.htm)
- Portal de la Fundación Vida Sostenible sobre impacto del metano: [www.curriculumnacional/link/http://www.vidasostenible.org/informes/metano-vacas-y-cambio-climatico/](http://www.vidasostenible.org/informes/metano-vacas-y-cambio-climatico/)
- Tutorial de termoquímica inicial de la Academia Osorio, España: [www.curriculumnacional/link/https://unaquimicaparatodos.com/wp-content/uploads/2017/01/6.-TERMOQUÍMICA.-LIBRO-PRINCIPAL.pdf](https://unaquimicaparatodos.com/wp-content/uploads/2017/01/6.-TERMOQUÍMICA.-LIBRO-PRINCIPAL.pdf)
- Página interactiva sobre termoquímica inicial y primera ley de la termodinámica: [www.curriculumnacional/link/https://es.khanacademy.org/science/physics/thermodynamics/laws-of-thermodynamics/v/first-law-of-thermodynamics-internal-energy](https://es.khanacademy.org/science/physics/thermodynamics/laws-of-thermodynamics/v/first-law-of-thermodynamics-internal-energy)
- Página de FisicaLab sobre introducción a la termodinámica: [www.curriculumnacional/link/https://www.fisicalab.com/apartado/primer-principio-termo#contenidos](https://www.fisicalab.com/apartado/primer-principio-termo#contenidos)

Actividad 2. Moviendo motores

PROPÓSITO

Diseñar propuestas de estudio y aplicación de la segunda y tercera ley de la termodinámica mediante casos contextualizados.

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

OA 3

Argumentar y comunicar, con base en evidencia científica, cómo la termodinámica y la cinética de reacciones químicas contribuyen a comprender el funcionamiento de los sistemas naturales y sus respuestas a cambios ejercidos sobre estos.

OA 5

Analizar el origen, las vías de exposición, los efectos y las propiedades de contaminantes químicos provenientes de actividades domésticas e industriales (como minería, agricultura y desarrollo urbano) sobre los sistemas naturales y los servicios ecosistémicos que estos brindan a las personas y a la sociedad.

OA h

Evaluar la validez de información proveniente de diversas fuentes, distinguiendo entre evidencia científica e interpretación, y analizar sus alcances y limitaciones.

ACTITUDES

Pensar con reflexión propia y autonomía para gestionar el propio aprendizaje, identificando capacidades, fortalezas y aspectos por mejorar.

DURACIÓN

10 horas pedagógicas

DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD

Leen el siguiente texto y lo analizan, ayudados por las preguntas del docente.

Ciclos de Otto y Diésel: revisión desde la perspectiva termodinámica

Según la termodinámica, los motores de combustión interna con máquinas térmicas que generan energía mecánica. Tanto el ciclo Otto como el Diésel se encuentran dentro de este conjunto; sin embargo, vamos a diferenciar entre motores de encendido provocado (MEP) y motores de encendido por compresión (MEC).

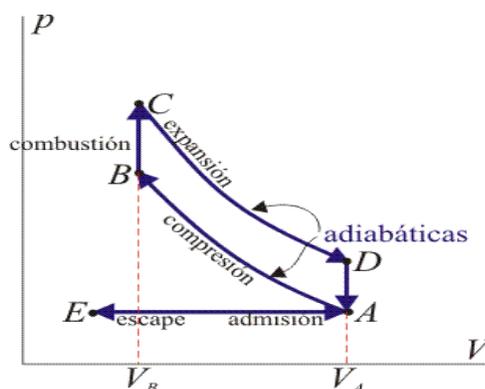
A los motores en los que la compresión ocurre mediante la mezcla aire-combustible, se los llama motores de encendido provocado, siguen el ciclo Otto y se encienden de manera artificial (generalmente con una chispa).

En cambio, los denominados motores de encendido por compresión son aquellos en que la compresión se realiza solo con aire y siguen el ciclo Diésel. En estos casos, el aire pasa directamente a los cilindros, donde se comprime hasta temperaturas muy elevadas. Posteriormente se inyecta el combustible, que se inflama espontáneamente cuando supera su temperatura de auto-inflamación.

Si el motor dispone de bujía para producir la chispa, es de encendido provocado (Otto - motor de gasolina); si la combustión se realiza mediante inyección del combustible, tenemos un motor de encendido por compresión (Diésel - motor Diésel).

En un ciclo Otto, se toma calor del proceso de combustión (a volumen constante) y se cede calor a la atmósfera. Las transformaciones del ciclo son:

Gráfica 1: Ciclo de Otto

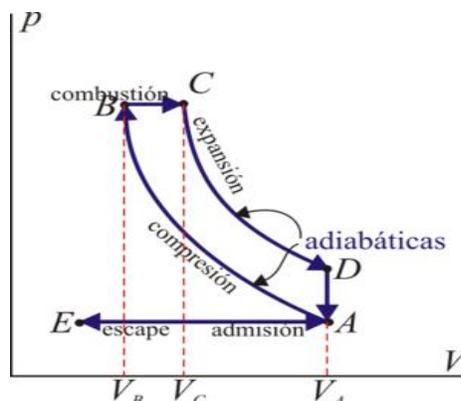


Los alumnos aplican variables matemáticas a fenómenos químicos y energéticos:

- Analizan cómo varían las propiedades termodinámicas (T, V, P) en cada estado.
- A partir de los puntos termodinámicos A, B, C, D y E, caracterizan cada tipo de proceso del ciclo y describen sus implicancias.
- Argumentan sobre los flujos de calor y trabajo en cada proceso del ciclo.
- Explican lo que ocurre con el combustible en cada proceso.

El rendimiento depende del grado de compresión: cuanto mayor sea, mayor será el rendimiento. En el ciclo Diésel, la combustión ocurre teóricamente a presión constante y al superar el grado de auto-inflamación del combustible. Las transformaciones del ciclo son:

Gráfica 2: Ciclo de Diésel



Aplican variables matemáticas a fenómenos químicos y energéticos:

- Analizan cómo varían las propiedades termodinámicas (T, V, P) en cada estado.
- Analizando los puntos termodinámicos A, B, C, D y E, y caracterizan cada tipo de proceso del ciclo.
- Argumentan sobre los flujos de calor y trabajo en cada proceso del ciclo.
- Explican lo que ocurre con el combustible en cada proceso.

Continúan la lectura:

El rendimiento del ciclo Diésel dependerá de ρ (grado de combustión a presión constante) y ϵ (relación de compresión volumétrica).

Algunos cálculos realizados por la Universidad de Sevilla demuestran que la eficiencia máxima de un motor teórico perfecto de gasolina con relación de compresión 8:1 es de un 56,5 %.

Para el ciclo Diésel, que permite relaciones de compresión mayores, su rendimiento perfecto para una relación de compresión de 18:1 sería de un 63,2 %.

Estos estudios se desarrollaron para motores teóricamente perfectos, peor en realidad no se fabrica motores que se acerquen a esos valores de rendimiento (debido a rozamientos, pérdidas por bombeo, etc.).

Observaciones al docente:

Se sugiere recordar cómo se construye una reacción de combustión y el método de cálculo de entalpía de reacción a partir de entalpías de formación, además de lo abordado al comienzo de esta unidad y los tipos de reacciones químicas trabajadas en 1° medio.

Aplican la información proporcionada y los gráficos asociados, guiados por preguntas sobre factores termodinámicos:

- Indagan en fuentes del área los datos: ΔH y ΔS a temperatura 298 K y 1 atm para gasolina y diésel. Asumen que la gasolina es octano y el diésel es dodecano.
- A partir de esos datos, calculan ΔG para los dos combustibles, comparan dichos valores y argumentan el valor obtenido en términos de la espontaneidad de la formación de ambos (usan aspectos como estructura de las moléculas, masa molecular, entalpía, entropía, entre otros).
- Escriben las reacciones químicas de combustión de ambos combustibles (asumen que la gasolina es octano y el diésel es dodecano). Calculan $\Delta H_{\text{combustión}}$, $\Delta S_{\text{combustión}}$ y $\Delta G_{\text{combustión}}$ utilizando tablas termodinámicas. Comparan la eficiencia energética en términos de calor, entropía y espontaneidad, y la emisión de GEI (gases de efecto invernadero).
- Con los datos obtenidos debaten: ¿qué relación se puede establecer en cuanto al rendimiento según el teorema de Carnot para los ciclos de Otto y Diésel?
- Con respecto a la conversión energía química en energía mecánica para ambos casos, ¿qué ocurre en la relación rendimiento y emisiones al medio? ¿Cuál es el impacto medioambiental en ambos casos? Según los gráficos, ¿qué variables termodinámicas se debería modificar para aumentar el rendimiento teóricamente?

Conexión interdisciplinar:
Módulo "Ambiente y Sostenibilidad"
Ciencias para la Ciudadanía
 OA 2

Observaciones al docente:

Es importante la relación entre transformación de energía y el impacto en los ecosistemas de la biósfera. Para eso, es vital que apliquen el concepto de "desarrollo sostenible" a partir de los datos termodinámicos estudiados. Se sugiere que usen tablas de diferentes especies químicas para estas relaciones y para que deduzcan nuevas relaciones, como el impacto del desarrollo de nuevas energías; por ejemplo: la reciente incorporación de buses eléctricos para el transporte público o la nueva red comercial de carga en estaciones de servicio en Chile.

Siguiendo con el análisis de los combustibles, escriben un artículo científico (*paper*) con sus argumentos.

Observaciones al docente:

En la comunicación científica, es relevante seguir pasos ordenados que permitan que los datos sean coherentes entre sí, entregar resultados y contrastar hipótesis. Para esto, se aconseja socializar una rúbrica de trabajo para evaluar los *paper* de los estudiantes. Se aconseja monitorear las hipótesis y variables de estudio para evitar problemas con variables múltiples que no puedan explicar; así se refuerza lo importante que son la argumentación científica, el lenguaje y la discusión crítica de los temas.

En su artículo informarán sobre la relación "uso de combustibles (tipo) y el impacto ambiental", basados en las siguientes publicaciones:

Fuente 1: Incremento de la generación de entropía durante la combustión de metano con aire contaminado
www.curriculumnacional/link/http://somim.org.mx/memorias/memorias2009/pdfs/A5/A5_199.pdf

Fuente 2: La entropía en estudios de impacto ambiental
www.curriculumnacional/link/http://karin.fg.uh.cu/acc/2014/CNE/135%202014/Articulos%20Enteros/2010_CEMPA_Entropia.pdf

Analizan el producto diseñado:

Trabajarán de forma colaborativa respecto del impacto medioambiental y su mitigación, o sobre el impacto en un sistema local del uso de combustibles; en ambos casos, el *paper* tendrá inicio, desarrollo, un final que sustente una hipótesis explicativa y un análisis socio-ambiental del tema abordado. Compartirán los artículos entre los pares y los publicarán en medios de difusión locales o en la comunidad escolar, a fin de discutir sobre el uso de los recursos energéticos en el país y en el mundo. Evaluarán la validez de la información que incluyeron, identificando las evidencias científicas y las interpretaciones que se hace en el documento.

Observaciones al docente

Los siguientes indicadores de evaluación, entre otros, pueden ser utilizados para evaluar formativamente:

- Aplican modelos matemáticos en el impacto termodinámico y cinético de reacciones químicas en estudio.
- Describen contaminantes e ilustran sus propiedades, origen, vías de exposición y efectos, en contextos de estudios cinéticos y termodinámicos.
- Distinguen evidencias científicas e interpretaciones en investigaciones científicas validadas por la comunidad científica.

Recursos y sitios web



- Página correspondiente al artículo de trabajo en la actividad:
www.curriculumnacional/link/http://somim.org.mx/memorias/memorias2009/pdfs/A5/A5_199.pdf
- Página con el artículo a trabajar en la actividad:
www.curriculumnacional/link/http://karin.fq.uh.cu/acc/2014/CNE/135%202014/Articulos%20Enteros/2010_CEMPA_Entropia.pdf
- Página de análisis del metano:
www.curriculumnacional/link/http://karin.fq.uh.cu/acc/2014/CNE/135%202014/Articulos%20Enteros/2010_CEMPA_Entropia.pdf
- Sitio oficial de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC):
www.curriculumnacional/link/http://www.sec.cl/portal/page?_pageid=33,3429539&_dad=portal&_schema=PORTAL

Actividad 3. Convertidores catalíticos

PROPÓSITO

Analizar los factores que influyen en la velocidad de una reacción química y su relación con la disminución de contaminantes.

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

OA 5

Analizar el origen, las vías de exposición, los efectos y las propiedades de contaminantes químicos provenientes de actividades domésticas e industriales (como minería, agricultura y desarrollo urbano) sobre los sistemas naturales y los servicios ecosistémicos que estos brindan a las personas y a la sociedad.

OA f

Desarrollar y usar modelos basados en evidencia, para predecir y explicar mecanismos y fenómenos naturales.

ACTITUDES

Pensar con apertura hacia otros para valorar la comunicación como una forma de relacionarse con diversas personas y culturas, compartiendo ideas que favorezcan el desarrollo de la vida en sociedad.

DURACIÓN

10 horas pedagógicas

DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD

Leen el siguiente texto y reflexionan en torno a las preguntas que se detalla a continuación:

Profundizando ideas: convertidores catalíticos

Hay diferentes tipos de convertidores catalíticos, pero los vehículos modernos están equipados con convertidores catalíticos de tres vías, según las tres clases de gases contaminantes que debe reducir (CO, HC y NO_x). El convertidor utiliza dos tipos de catalizadores, uno de reducción y otro de oxidación. Ambos consisten en una estructura cerámica cubierta con metal, normalmente platino, rodio y paladio. La idea principal fue crear una estructura que exponga al máximo la superficie del catalizador contra el flujo de gases de escape, minimizando también la cantidad de catalizador requerido, ya que es muy caro.

La primera etapa es el catalizador de reducción, el cual utiliza elementos químicos como el platino y rodio para disminuir las emisiones de NO_x (óxidos de nitrógeno). Funciona así: cuando una molécula de monóxido o dióxido de nitrógeno entra en contacto con el catalizador, este atrapa el átomo de nitrógeno, liberando el átomo de oxígeno y luego, el átomo de nitrógeno se une con otro átomo de nitrógeno y se libera; es decir, este catalizador descompone los óxidos de nitrógeno en oxígeno y nitrógeno (son los

componentes del aire y, por lo tanto, no contaminan). A más cantidad de NO_x, mayor es la velocidad de la transformación, ya que se encuentra mayor cantidad de moléculas.

La segunda etapa es la del catalizador de oxidación), este catalizador utiliza elementos químicos como el platino y paladio. Ellos toman los hidrocarburos (HC) y el monóxido de carbono (CO) que salen por el múltiple de escape del motor y el catalizador los hace reaccionar con el oxígeno, que también viene del motor, generando dióxido de carbono (CO₂). Para que estas reacciones de disociación se produzcan, el catalizador debe estar a una temperatura de 500°C, ya que a temperatura ambiente la reacción química es muy lenta.

Existe una tercera etapa encargada del control de emisiones; esta cuenta con un sensor de oxígeno (que está ubicado antes del convertidor catalítico) que monitorea los gases de escape provenientes del motor y usa esa información para controlar el sistema de inyección de combustible del motor.

Extraído y modificado de www.curriculumnacional/link/https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/174-funcionamiento-del-convertidor-catalitico/

Luego de analizar el texto, los alumnos argumentan sobre el tema:

- Según el texto, ¿cuál es la función de cada etapa del proceso?
- ¿Qué significa la palabra “catalítico” en este artefacto del automóvil?
- ¿Cuál es el sentido de la siguiente frase: “La idea principal fue crear una estructura que exponga al máximo la superficie del catalizador contra el flujo de gases de escape”?
- Explican la siguiente frase: “Para que estas reacciones de disociación se produzcan, el catalizador debe estar a una temperatura de 500°C, ya que a temperatura ambiente la reacción química es muy lenta”.
- Discuten entre pares la siguiente frase: “A más cantidad de NO_x, mayor es la velocidad de la transformación, ya que se encuentra mayor cantidad de moléculas”. Elaboran una explicación en conjunto.
- Explican los conceptos de oxidación y reducción en las dos secciones del convertidor catalítico, incluyendo los cambios de estado de oxidación de las especies químicas.
- Resumen los cuatro factores que modifican la velocidad de reacción y sus efectos en una reacción química.

Observaciones al docente:

En esta actividad, es necesario recordar los aprendizajes logrados en 1° medio sobre las reacciones químicas y la velocidad de reacción.

Es importante complementar los conceptos de esta actividad con los trabajados en la unidad 1 respecto de las reacciones redox. Es una oportunidad para monitorear si lograron estos aprendizajes para aplicarlos al contexto de convertidores catalíticos.

En el resumen de los cuatro factores que modifican la velocidad de reacción (superficie de contacto, temperatura, concentración de reactantes y catalizadores), tienen que incluir el sentido de variación de cada uno.

A continuación, realizan los siguientes experimentos:

Experimento 1: Agregan 100 mL de agua a dos vasos de precipitado a temperatura ambiente. Muelen la mitad de una tableta efervescente sobre un papel y conservan entera la otra mitad. En uno de los vasos ponen la tableta molida y en el otro, la tableta entera. Registran el tiempo que tarda en reaccionar totalmente la tableta en cada uno de los vasos y ordenan los datos en una tabla. Consiguen los resultados de otros grupos para establecer un promedio.

- Discuten las semejanzas y diferencias de ambos experimentos en cuanto a observaciones y datos cuantitativos.
- Identifican las variables dependientes, independientes y constantes en el experimento.
- Si hubiese diferencias cuantitativas, analizan a qué las atribuyen.
- ¿Cómo influye el estado de las tabletas en el tiempo que demora la reacción?
- ¿Cómo se interpreta el valor promedio de los datos de todos los grupos del curso?

Experimento 2: Vierten 100 ml de agua en dos vasos de precipitado: uno con agua a temperatura ambiente y el otro con agua caliente. Parten por la mitad la tableta efervescente y agregan cada mitad simultáneamente a ambos vasos. Registran el tiempo que tarda en reaccionar totalmente la tableta en cada vaso y ordenan los datos en una tabla. Consiguen los resultados de otros grupos y sacan un promedio.

- Discuten las semejanzas y diferencias de ambos experimentos en cuanto a observaciones y datos cuantitativos.
- Identifican las variables dependientes, independientes y constantes en el experimento.
- Si hubiese diferencias cuantitativas, ¿a qué las atribuyen?
- ¿Cómo influye el estado de las tabletas en el tiempo que demora la reacción?
- ¿Cómo se interpreta el promedio de los datos de todos los grupos del curso?

Experimento 3: Enumeran tres vasos de precipitados y les vierten 5, 10 y 15 mL de agua destilada, respectivamente. Añaden a cada vaso 20, 15 y 10 mL de vinagre, respectivamente. Agitan homogéneamente cada vaso. Toman tres pastillas efervescentes. Agregan sobre el vaso 1 una pastilla efervescente y registran el tiempo hasta que termina la reacción; repiten este procedimiento con los vasos 2 y 3, respectivamente. Registran el tiempo que tarda en reaccionar totalmente la tableta en cada vaso y ordenan los datos en una tabla. Consiguen los resultados de otros grupos y obtienen un promedio.

- Discuten las semejanzas y diferencias de ambos experimentos en cuanto a observaciones y datos cuantitativos.
- Identifican las variables dependientes, independientes y constantes en el experimento.
- Si hubiese diferencias cuantitativas, ¿a qué las atribuyen?
- ¿Cómo influye el estado de las tabletas, la cantidad de vinagre y el agua en el tiempo que demora la reacción?
- ¿Cuál es la importancia del agua en los experimentos?
- ¿Por qué hay que promediar los datos de todos los grupos del curso?

A partir de la información presentada, desarrollan que siguen al texto:

Observaciones al docente:

En cada experimento, deben tener claro el concepto de estado de un sistema; es decir, las condiciones en las cuales se encuentra un sistema (no confundir con estado de agregación de la materia).

La pregunta sobre el promedio de los datos del curso enfatiza que hay que replicar los experimentos y cómo trabaja la ciencia para obtener conclusiones.

Se sugiere relacionar los conceptos de esta actividad con los trabajados anteriormente en termodinámica.

El agua es importante para completar volúmenes y así mantener constante el volumen del experimento sobre la influencia de la concentración en la velocidad de reacción.

Con ayuda de estos experimentos, los estudiantes deberían construir el concepto de velocidad de reacción.

En el último, el mondadientes en ignición permite evidenciar la presencia de oxígeno, ya que debería avivar la llama o brasa en ignición. Se puede sustituir el trozo de hígado de pollo o carne por MnO_2 (dióxido de manganeso) o KI (yoduro de potasio).

Al finalizar los experimentos, deben repasar los cuatro factores en un plenario o aprovechando la actividad que sigue.

El agua oxigenada se descompone en agua y oxígeno, reacción química cuyo $\Delta G^\circ = -238,2 \text{ kJ/mol}$ y una constante de velocidad muy baja; por esta razón, es muy habitual que los frascos con agua oxigenada que se guardan en botiquines no sean efectivos al pasar un tiempo. Para demostrar esta descomposición, experimentan lo siguiente: Viertan 20 mL de agua oxigenada de 20 volúmenes en dos tubos de ensayo; añaden 5 mL de agua al primer tubo y agitan suavemente; agregan un trocito de hígado de pollo o carne fresca al segundo tubo y agitan suavemente; acercan a ambos tubos un mondadientes o pajita en ignición. Anotan sus observaciones en cada paso del experimento.

- Escriban la ecuación química balanceada de la reacción de descomposición del agua oxigenada.
- A partir de la información proporcionada, ¿cómo podríamos afirmar que esta reacción química es espontánea y lenta?
- Explican la frase “por esta razón, es muy habitual que los frascos con agua oxigenada que se guardan en botiquines no sean efectivos al pasar un tiempo”.
- Discuten las semejanzas y diferencias de ambos experimentos en cuanto a observaciones y datos cuantitativos.
- Identifican las variables dependientes, independientes y constantes en el experimento.
- Si hubiese diferencias cualitativas, ¿a qué las atribuyen?
- ¿Cómo influyen el agua y el trozo de hígado o carne en el tiempo que demora la reacción?
- ¿Cuál es la función del mondadientes o pajita en ignición en los experimentos?

En un video, observan cómo funciona el convertidor catalítico (se sugiere buscar en internet aquellos titulados “¿cómo funciona el convertidor catalítico?”) y luego contestan las siguientes preguntas:

- ¿Cómo están presentes los cuatro factores que modifican la velocidad de reacción en un convertidor catalítico?
- ¿Qué diferencias hay entre las emanaciones de un automóvil sin convertidor catalítico y otro con convertidor?
- ¿Cuál es el origen de los contaminantes que mitiga el convertidor catalítico?
- ¿Cuáles son las vías de exposición de los contaminantes que se produce en un automóvil?

- ¿Cuál es el tiempo o distancia recorrida que necesita un convertidor catalítico para que comience a funcionar eficientemente?
- ¿Es eficiente el convertidor catalítico en viajes cortos de una ciudad? ¿Qué opinan sobre la introducción de buses eléctricos en ciudades frente al uso de automóviles con convertidor catalítico?

Socializan las ideas mediante un debate guiado.

Observaciones al docente

Los siguientes indicadores de evaluación, entre otros, pueden ser utilizados para evaluar formativamente:

- Aplican modelos matemáticos en el impacto termodinámico y cinético de reacciones químicas en estudio.
- Explican efectos de contaminantes en fenómenos químicos presentes en sistemas naturales y en los servicios ecosistémicos, considerando aspectos de la termodinámica y la cinética de reacciones.
- Evalúan implicancias éticas, ambientales y sociales de la producción y el uso de contaminantes.

Recursos y sitios web



- Sitio que explica el funcionamiento del convertidor catalítico:
[www.curriculumnacional/link/https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/174-funcionamiento-del-convertidor-catalitico/](https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/174-funcionamiento-del-convertidor-catalitico/)
- Sitio con diferentes unidades didácticas de Química:
[www.curriculumnacional/link/http://www7.uc.cl/sw_educ/educacion/grecia/plano/html/pdfs/destacados/LibroDQuiGrecia.pdf](http://www7.uc.cl/sw_educ/educacion/grecia/plano/html/pdfs/destacados/LibroDQuiGrecia.pdf)

Actividad 4. Rodamina B y cinética: ¿qué y cómo?

PROPÓSITO

Analizar las propiedades cinéticas de un contaminante a partir de datos y resultados cinéticos experimentales.

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

OA 3

Argumentar y comunicar, con base en evidencia científica, cómo la termodinámica y la cinética de reacciones químicas contribuyen a comprender el funcionamiento de los sistemas naturales y sus respuestas a cambios ejercidos sobre estos.

OA 5

Analizar el origen, las vías de exposición, los efectos y las propiedades de contaminantes químicos provenientes de actividades domésticas e industriales (como minería, agricultura y desarrollo urbano) sobre los sistemas naturales y los servicios ecosistémicos que estos brindan a las personas y a la sociedad.

OA h

Evaluar la validez de información proveniente de diversas fuentes, distinguiendo entre evidencia científica e interpretación, y analizar sus alcances y limitaciones.

ACTITUDES

Pensar con apertura hacia otros para valorar la comunicación como una forma de relacionarse con diversas personas y culturas, compartiendo ideas que favorezcan el desarrollo de la vida en sociedad.

DURACIÓN

10 horas pedagógicas

DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD

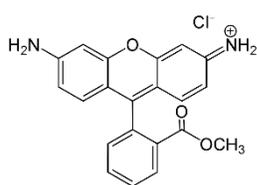
Observaciones al docente:

El docente puede relacionar las moléculas de rodamina con los aprendizajes logrados en Química Orgánica en 2° medio.

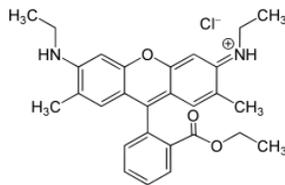
Sobre la base del texto y los modelos presentados, los alumnos desarrollan preguntas e ítems guiados de trabajo.

¿Rodamina?

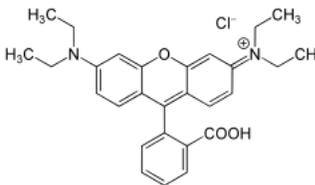
La rodamina B es un colorante que se utiliza en la industria textil. Hay diferentes tipos de rodamina:



Rodamina 123



Rodamina 6G



Rodamina B

- Analizan las estructuras de las diferentes rodaminas, indicando semejanzas y diferencias en cuanto a estructura y posible reactividad.
- Investigan sobre su toxicidad y resumen esta información en fichas.
- Discuten sobre las vías de exposición de los diferentes tipos de rodaminas como contaminantes.

Conexión interdisciplinar:

**Módulo “Bienestar y Salud”
Ciencias para la Ciudadanía**

OA 1

**Módulo “Seguridad, Prevención y
autocuidado” Ciencias para la
Ciudadanía**

OA 1

Análisis de información ordenada en tablas y datos sobre la rodamina B:

Para estudiar la cinética de descomposición de la rodamina B, se ingresó los siguientes datos del estudio cinético de degradación fotocatalítica oxidativa de rodamina con ZnO y luz solar (se incluyó soluciones químicas de diferentes concentraciones de rodamina B).

Tabla 1: Concentración de rodamina B en el tiempo

Tiempo [min]	Experimento 1 [Rodamina] [15 ppm]	Experimento 2 [Rodamina] [20 ppm]	Experimento 3 [Rodamina] [25 ppm]	Experimento 4 [Rodamina] [30 ppm]
0	15	20	25	30
10	5,45	7,99	13,03	18,23
20	1,06	2,41	5,12	8,58
30	0,35	0,71	2,12	4,05
40	0,21	0,21	0,57	1,85
50	0,1	0,1	0,1	0,71

- Explican el significado de “degradación fotocatalítica oxidativa”.
- Identifican la variable dependiente y la variable independiente de este estudio.
- Muestran los datos de la tabla 1 en un solo gráfico, de acuerdo con las variables identificadas. Interpretan la tendencia de los datos y analizan si está ocurriendo una degradación de la rodamina B.
- Calculan la velocidad promedio de la reacción química en cada experimento. Discuten el concepto de velocidad promedio y velocidad inicial, y su importancia en estudios cinéticos.

Analizan cuál experimento presenta una mayor velocidad inicial y deciden cuál es el mejor para obtener conclusiones sobre el estudio cinético.

Estiman parámetros en contexto para la ley de velocidad:

Las reacciones químicas se rigen por ciertos parámetros cinéticos que se resumen en la ley de velocidad, cuya expresión es:

$$v = k [A]^x [B]^y$$

- Explican cada uno de los parámetros cinéticos de la ley de velocidad.
- Sabiendo que existen reacciones químicas de diverso orden, construyen los gráficos para cada uno de los experimentos, considerando orden cero, primer orden y segundo orden. Interpretan la tendencia de los datos en cada gráfico.
- Con ayuda de una hoja de cálculo, determinan la ecuación de la recta de cada gráfico construido y el valor de regresión lineal. Deciden cuál gráfico representa mejor la tendencia lineal de los datos. Analizan el experimento que muestra mejor el comportamiento de los datos y lo comparan con la velocidad inicial más alta determinada con anterioridad.
- Calculan el orden de degradación de la rodamina B y la constante de velocidad, completando la ley de velocidad.
- Calculan el tiempo de vida media en forma gráfica a partir de las ecuaciones, y explican su significado.
- Considerando que la reacción de degradación fotocatalítica oxidativa es espontánea, construyen un perfil de energía para este proceso.
- Calculan cuánto demora en degradarse –con ayuda de la degradación fotocatalítica oxidativa– la rodamina B de una laguna que tiene una concentración de 750 000 ppm de rodamina, sabiendo que el valor permitido es 10 ppm.
- Analizan las consecuencias de utilizar ZnO como catalizador para degradar la rodamina.

Observaciones al docente:

Es importante usar la planilla de datos de un software que incluya hojas de cálculo para que los estudiantes apliquen herramientas de regresión lineal y decidan qué tipo de gráfico describe con precisión el comportamiento de un grupo de datos.

Se recomienda que grafiquen todos los experimentos para cada tipo de orden. Por ende, elaboran tres gráficos que presentan los cuatro experimentos por cada vez. Conviene especificar que los gráficos de los diferentes órdenes siguen las ecuaciones de la recta que se muestra aquí, y aquel gráfico o conjunto de gráficos que tenga un valor de r^2 más cercano a 1 será el que mejor muestre cómo se comportan los datos. Asimismo, el valor de la constante de velocidad se obtiene de la pendiente del gráfico.

Orden	Ley de la velocidad	Ecuación Concentración-Tiempo	Vida media
0	velocidad = k	$[A] = [A]_0 - kt$	$t_{1/2} = \frac{[A]_0}{2k}$
1	velocidad = $k [A]$	$\ln[A] = \ln[A]_0 - kt$	$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$
2	velocidad = $k [A]^2$	$\frac{1}{[A]} = \frac{1}{[A]_0} + kt$	$t_{1/2} = \frac{1}{k[A]_0}$

- Elaboran un tríptico para explicar las consecuencias de la contaminación de rodamina B y la degradación fotocatalítica oxidativa con ZnO y luz solar. Exponen los parámetros cinéticos para calcular los tiempos de degradación.
- Averiguan en diversas fuentes sobre los usos de la rodamina en herbicidas y extrapolan la información de degradación a otros contaminantes, como el glifosato. Elaboran un video sobre la importancia de las sustancias que se usa en agricultura y las vías de exposición para llegar a nuestro organismo. Distinguen en esas fuentes cuáles son evidencias científicas y cuáles, interpretaciones.

Observaciones al docente

Los siguientes indicadores de evaluación, entre otros, pueden ser utilizados para evaluar formativamente:

- Aplican modelos matemáticos sobre el impacto termodinámico y cinético de reacciones químicas en estudio.
- Distinguen evidencias científicas e interpretaciones en investigaciones científicas validadas por la comunidad científica.
- Evalúan implicancias éticas, ambientales y sociales de la producción y el uso de contaminantes.

Recursos y sitios web



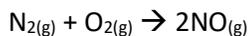
- Estudio cinético de degradación de la rodamina B:
www.curriculumnacional/link/http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2011000400004
- Tesis sobre degradación del glifosato:
[www.curriculumnacional/link/https://www.researchgate.net/profile/Rodrigo_Ramos_Hernandez/publication/328107759_Degradacion_fotoelectrocatalitica_de_glifosato_en_muestras_de_agua_de_la_localidad_de_Tenampulco_Puebla/links/5bb7be08299bf1049b700362/Degradacion-fotoelectrocatalitica-de-glifosato-en-muestras-de-agua-de-la-localidad-de-Tenampulco-Puebla.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Rodrigo_Ramos_Hernandez/publication/328107759_Degradacion_fotoelectrocatalitica_de_glifosato_en_muestras_de_agua_de_la_localidad_de_Tenampulco_Puebla/links/5bb7be08299bf1049b700362/Degradacion-fotoelectrocatalitica-de-glifosato-en-muestras-de-agua-de-la-localidad-de-Tenampulco-Puebla.pdf)
- Ficha de datos de seguridad de la rodamina B:
[www.curriculumnacional/link/https://www.carlroth.com/downloads/sdb/es/T/SDB_T130_ES_ES.pdf](https://www.carlroth.com/downloads/sdb/es/T/SDB_T130_ES_ES.pdf)

Actividad de Evaluación: Perfiles energéticos: NO₂ atmosférico

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE	INDICADORES DE EVALUACIÓN
<p>OA 3: Argumentar y comunicar, con base en evidencia científica, cómo la termodinámica y la cinética de reacciones químicas contribuyen a comprender el funcionamiento de los sistemas naturales y sus respuestas a cambios ejercidos sobre estos.</p> <p>OA 5: Analizar el origen, las vías de exposición, los efectos y las propiedades de contaminantes químicos provenientes de actividades domésticas e industriales (como minería, agricultura y desarrollo urbano) sobre los sistemas naturales y los servicios ecosistémicos que estos brindan a las personas y a la sociedad.</p> <p>OA f: Desarrollar y usar modelos basados en evidencia, para predecir y explicar mecanismos y fenómenos naturales.</p>	<p>Diseñan perfiles energéticos de reacciones químicas, empleando factores termodinámicos y cinéticos para diversos contextos.</p> <p>Aplican modelos matemáticos sobre el impacto termodinámico y cinético de reacciones químicas en estudio.</p> <p>Evalúan implicancias éticas, ambientales y sociales de la producción y el uso de contaminantes.</p>
<p>DURACIÓN 2 horas pedagógicas</p>	

Factores termodinámicos en un contaminante

- Explican los factores termodinámicos y cinéticos que se debe considerar en el perfil energético de una reacción química.
- El NO₂ atmosférico proviene de diversos procesos químicos. Uno de ellos se origina en el N₂ y O₂ atmosférico. En una primera etapa, reaccionan de manera natural en la atmósfera en presencia de una tormenta eléctrica o durante la combustión de la bencina en los automóviles, según la siguiente ecuación:



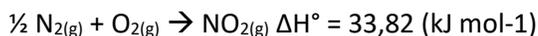
- a) Evalúan los factores termodinámicos que se obtiene a partir de la siguiente tabla para la reacción anterior, y si las condiciones atmosféricas a 25 °C son adecuadas para la formación de este producto de manera espontánea. Explican basándose en los valores de todas las funciones termodinámicas obtenidas.

Tabla 1: Valores de entalpía y entropía estándar

Sustancia	ΔH° [kJ/mol]	ΔS° [J/mol K]
N ₂	0	130,6
O ₂	0	205,0
NO	90,4	210,6

- b) El NO formado en la atmósfera se oxida según: $2\text{NO}_{(g)} + \text{O}_{2(g)} \rightarrow 2\text{NO}_{2(g)}$. Para este proceso se simuló la reacción en etapas. ¿Cuál es la entalpía estándar para la formación de 1 mol de $\text{NO}_{2(g)}$ a partir de $\text{NO}_{(g)}$ y $\text{O}_{2(g)}$? ¿Qué significado tiene el resultado obtenido?

Se sabe que las etapas simuladas en el laboratorio son:



- c) Para obtener ácido nítrico, una de las etapas principales es la oxidación del óxido nítrico a dióxido de nitrógeno: $2 \text{NO}_{(g)} + \text{O}_{2(g)} \rightarrow 2 \text{NO}_{2(g)}$. Para esta reacción, se ha determinado experimentalmente que su ecuación de velocidad es: $v = k [\text{NO}]^2 \times [\text{O}_2]$ y que la constante de velocidad, a 25 °C, vale $k = 6,5 \times 10^{-3} \text{ mol}^{-2} \text{L}^2 \text{s}^{-1}$. Explican qué significa esa ecuación de velocidad y calculan la velocidad de oxidación del NO a dicha temperatura, cuando en un día de contaminación por esta sustancia las concentraciones iniciales (mol L^{-1}) de los reactivos son: $[\text{NO}] = 0,100 \text{ M}$; $[\text{O}_2] = 0,210 \text{ M}$.
- d) Construyen el perfil de reacción de formación de NO_2 , sabiendo que en la primera reacción ($\text{N}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}$) $\Delta G = 40 \text{ kJ/mol}$ y en la segunda reacción ($2\text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_2$) $\Delta G = -50 \text{ kJ/mol}$; además, en la primera etapa el valor de la energía de activación es 50 kJ/mol y en la segunda etapa es 15 kJ/mol. Evalúan la cinética y espontaneidad de cada etapa.

Una vez formado el NO_2 , reacciona con el agua formando ácido nítrico (HNO_3), contaminante que participa en la lluvia ácida. Redactan un párrafo a partir de sus reflexiones con respecto a la formación de NO, NO_2 y HNO_3 en la atmósfera, considerando aspectos termodinámicos y cinéticos y sus consecuencias en la vida cotidiana y en el entorno.