

# Las erupciones volcánicas y los estados de la materia

Juana Robles Caycho | juana.robles@pucp.edu.pe

## Introducción

A continuación presentaremos un Proyecto Integral del curso de Química 1 que se presenta al iniciar una unidad. Este proyecto se resuelve de manera grupal y se entrega resuelto el día de la práctica programada por EEGCC.

## Objetivo de aprendizaje involucrado en la actividad:

El objetivo del Proyecto Integral de una unidad es que los alumnos, trabajando grupalmente, puedan aplicar los conceptos aprendidos en una situación real adaptada a su nivel de aprendizaje.

En este caso, la unidad trata sobre los estados de la materia. En el estado gaseoso, se estudian sus propiedades específicas, las leyes y teorías que explican sus características particulares. En el estado líquido, se estudian los diferentes tipos de fuerzas intermoleculares a fin de explicar las características y propiedades específicas de este estado. En el estado sólido, se explican los distintos tipos de sólidos que pueden formar las sustancias y sus propiedades. Finalmente, se ve de forma integrada cómo se comportan las sustancias al pasar de un estado a otro, teniendo en cuenta sus diagramas de fase y los diagramas de calentamiento / enfriamiento.

## Desarrollo de la actividad

Actividad	Procedimiento	Materiales	Tiempo
Entrega del Proyecto Integral	El profesor lee junto con los alumnos el Proyecto Integral. Los alumnos elaboran una lista en la que indicarán qué temas conocen y cuáles desconocen de la lectura realizada.	Proyecto integral	Semana 9 15 min Día 1
En el tiempo restante del día 1 y durante el día 2, los alumnos se dedican a resolver actividades preparadas, de manera que vayan adquiriendo los conocimientos necesarios para resolver parte del Proyecto Integral y para poder cumplir con la entrega del avance del mismo.			
Recoger avance del Proyecto Integral	Los alumnos entregan el primer avance de la resolución grupal del Proyecto Integral.	Primer avance del Proyecto Integral	Semana 10 Día 1
En el día 1 y durante el día 2, los alumnos se dedican a resolver actividades preparadas, de manera que vayan adquiriendo los conocimientos necesarios para continuar con la resolución del Proyecto Integral y poder cumplir con la entrega del segundo avance del mismo.			
Recoger avance del Proyecto Integral	Los alumnos entregan el segundo avance de la resolución grupal del Proyecto Integral.	Segundo avance del Proyecto Integral	Semana 11 Día 1
Fin del Proyecto integral	Los alumnos, trabajando en grupo, concluyen con lo que les falta del Proyecto Integral.	Última entrega del Proyecto Integral	90 min Día 1

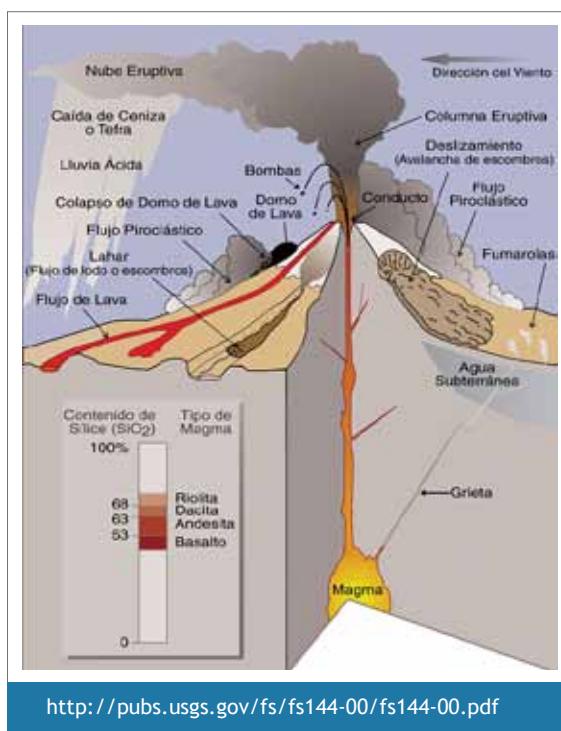
## Comentarios sobre la experiencia

- Debido a la gran diferencia de los conocimientos previos que traen los alumnos desde el colegio, se parte del supuesto de que no conocen los temas a tratar, pero sí pueden tener nociones sobre los mismos.
- La mayoría de nuestros alumnos han elegido las carreras de ingeniería; en consecuencia, piensan que la química es un tema que “no les va a servir” en su especialidad. Por ello, se busca hacerles “sentir” cuán palpables y reales son los temas, teniendo en cuenta que se debe simplificar lo real de la experiencia de una erupción volcánica y los aspectos involucrados en ella, al nivel de los conocimientos básicos que están adquiriendo.
- El tema fue elegido en vista de que, por esos días, se había producido una serie de erupciones volcánicas, lo que los hacía sentir más cerca del tema y los motivaba a participar.
- Se logró motivar a los alumnos e incluso algunos estuvieron interesados en otros temas más específicos sobre las erupciones volcánicas.
- Es importante estar atento a las noticias recientes y tratar de “ver” la aplicabilidad de las mismas en los temas que debemos trabajar con los alumnos, ya sea porque estén directamente relacionados o simplemente porque nos sirven para contextualizar algunos temas de nuestros cursos.

## Evaluación de la experiencia

Los alumnos recibieron junto con el Proyecto integral, una Rúbrica (matriz de valoración). La Rúbrica es un instrumento de evaluación que se diseña para que el alumno pueda ser evaluado de manera objetiva y consistente. Al mismo tiempo que le permite al profesor especificar qué espera del alumno e indicarle cuáles son los criterios con los que va calificar, los objetivos previamente establecidos sobre un trabajo.

# Proyecto integral



Rodrigo tuvo la suerte de participar en el programa Intercampus y consiguió una pasantía de tres meses en la Universidad de La Laguna, en Tenerife. Él además, es aficionado a la vulcanología y, estando allá, tuvo la oportunidad de visitar el Centro de Estudios Vulcanológicos del Instituto de Investigaciones Científicas, donde hizo algunas amistades y pudo aprender mucho sobre el origen volcánico de las islas.

Él ha leído que el magma contiene gases disueltos que son liberados a la atmósfera durante las erupciones. Los gases volcánicos están disueltos en la roca fundida, a altas presiones, en las profundidades de la superficie terrestre, pero conforme el magma asciende hacia la superficie, donde la presión es menor, los gases retenidos comienzan a formar burbujas diminutas. El incremento del volumen producido por las burbujas gaseosas hace que el magma sea menos denso que las rocas que lo rodean, lo que permite que el magma continúe su viaje ascendente. Cerca de la superficie, se incrementa el número y el tamaño de las burbujas, de modo que el volumen gaseoso excede al volumen del magma fundido y esto crea la espuma del magma.

La rápida expansión de las burbujas gaseosas produce una erupción explosiva, en la que el magma fundido es fragmentado en piezas de roca volcánica, material conocido como tefra. Si la roca fundida no se fragmenta por la actividad explosiva, se genera una corriente de lava.

Rodrigo tuvo la oportunidad de colaborar con algunos de los estudios que se realizan en el Instituto, aplicando en ellos los conocimientos adquiridos en el curso de Química 1 sobre los estados de la materia. Los gases más abundantes, típicamente liberados a la atmósfera por sistemas volcánicos, son vapor de agua,  $H_2O$ ; seguido por dióxido de carbono,  $CO_2$ ; y dióxido de azufre,  $SO_2$ . Los volcanes también liberan pequeñas cantidades de otros gases que incluyen sulfuro de hidrógeno,  $H_2S$ ; hidrógeno,  $H_2$ ; monóxido de carbono,  $CO$ ; cloruro de hidrógeno,  $HCl$ ; fluoruro de hidrógeno,  $HF$ ; y helio,  $He$ .

Los efectos del  $SO_2$  sobre las personas y el medio ambiente varían según la cantidad del gas que emite el volcán hacia la atmósfera, si el gas es inyectado a la troposfera o a la estratosfera y los vientos globales o regionales dispersan el gas. El  $SO_2$  es un gas incoloro con un olor pungente que irrita la piel, los tejidos y las mucosas de ojos, nariz y garganta, y afecta principalmente el tracto superior del sistema respiratorio y los bronquios. La Organización Mundial de la Salud recomienda, como límite máximo de exposición, una concentración de 0,5 ppm en 24 horas.

Las emisiones diarias de  $SO_2$  de un volcán activo están en el rango de 20 toneladas hasta 10 millones de toneladas, según el tipo de actividad volcánica y tipo y volumen de magma involucrado. Así, por ejemplo, en 1986, el volcán Kilauea, en Hawai, arrojó 2000 toneladas de  $SO_2$ . Considerando que los gases se eliminan a una temperatura de  $234\text{ }^\circ\text{C}$  y 32 atm de presión, Rodrigo fue el encargado de hacer algunos cálculos sobre la cantidad de  $SO_2$  que arrojó el Kilauea en aquella erupción. Así, determinó cuántas moles de  $SO_2$  se eliminaron y el volumen que hubiera ocupado el  $SO_2$  en las condiciones en que fue arrojado. Luego, calculó qué volumen ocupaba el  $SO_2$  a la presión externa de la boca del volcán, (0,55 atm), a la misma la temperatura de emisión. Finalmente, determinó el volumen del  $SO_2$  cuando se enfriaba a la temperatura ambiente de  $83\text{ }^\circ\text{C}$ . Para comprobar si sus cálculos eran correctos, Rodrigo aplicó la ley de los cambios triples, determinando directamente cuál hubiera sido el volumen ocupado por el  $SO_2$  si pasaba directamente de las condiciones en que fue eliminado hasta las condiciones ambientales en el exterior de la boca del volcán, es decir a  $83\text{ }^\circ\text{C}$  y 0,55 atm.

El estudio sobre los gases liberados durante la erupción del Kilauea estableció que la composición porcentual molar fue de 37,12 % de  $H_2O$ , 48,91 % de  $CO_2$ , 11,81 % de  $SO_2$ , 0,49 % de  $H_2$ , 1,52 % de  $CO$ , 0,06 % de  $H_2S$  y 0,09 % de  $HCl$ . Rodrigo se preguntó, entonces, el por qué de este comportamiento distinto de estos dos grupos de sustancias gaseosas con el agua.

Posteriormente, Rodrigo analizó qué pasaría con los gases emitidos cuando se enfriasen y qué tipo de fuerzas intermoleculares estarían actuando en cada caso, cuando cada uno de los gases se condensara. Luego, ordenó las sustancias en orden creciente respecto de la intensidad de las fuerzas intermoleculares, puntos de ebullición, presiones de vapor y volatilidad.

Rodrigo se preguntó, además, cómo va variando la viscosidad de la lava desde el momento en que sale de la boca del volcán y mientras recorre grandes distancias ladera abajo y qué factor hace que varíe de esa manera. Además, Rodrigo decidió analizar qué tipo de sólido formaría cada uno de los gases emitidos si llegaran a solidificarse y explicó brevemente su elección.

Entre el material que le proporcionaron sobre los estudios de las emisiones gaseosas, Rodrigo encontró que existen dos métodos principales para tomar y analizar los gases de las fumarolas: botellas al vacío y botellas de flujo continuo. Estos métodos consisten básicamente en colocar un tubo de muestreo de titanio, alúmina o sílice en la fumarola y dejar calentar unos 5 minutos. Así, se puede observar un flujo visible de gas en la salida del tubo de muestreo. El gas de la fumarola pasa por un pedazo corto de tubería de teflón antes de entrar al frasco, que consiste en una botella de vidrio de borosilicato con una llave de paso de alto vacío. La botella, previamente vaciada y pesada, se llena parcialmente con una solución acuosa de hidróxido de sodio. Se abre la llave de paso y el gas entra a la botella mediante la solución acuosa. El  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $H_2S$ ,  $SO_2$ ,  $CO$ ,  $HCl$  y  $HF$  se disuelven en la solución acuosa, mientras que el  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $H_2$ ,  $He$  y  $Ne$  se burbujan por la solución y una parte de ellos se juntan en el espacio vacío en la parte superior de la botella. Rodrigo se preguntó, entonces, el por qué de este comportamiento distinto de estos dos grupos de sustancias gaseosas con el agua.

Durante su estadía, Rodrigo tuvo la oportunidad de acompañar a los científicos que realizan investigaciones periódicas sobre los gases volcánicos que emite el Teide, volcán ubicado en la Isla de Tenerife y punto más alto de España. Se ha determinado que, entre los 3500 y 3716 metros de altura, el Teide

emite diariamente a la atmósfera unas 400 toneladas de CO<sub>2</sub> y el equivalente a 3140 toneladas de vapor de agua, si este no llegara a condensarse antes de alcanzar la atmósfera. Estos gases volcánicos emiten gran cantidad de energía al pasar de 234 °C y 32 atm a 83 °C y 0,55 atm. Posteriormente, le encargaron a Rodrigo que analizara por qué, a pesar de las continuas emisiones gaseosas, siempre hay nieve en la boca del volcán, para lo cual decidió construir la curva de enfriamiento que sufre el vapor de agua a 0,55 atm desde los 234 °C con que es emitido, pasando por los 83 °C, hasta llegar a los -15 °C, que es la temperatura ambiente promedio a esa altitud.

Como había estado estudiando sobre el SO<sub>2</sub> emitido, Rodrigo decidió, además, hacer el diagrama de fases del SO<sub>2</sub> e identificar cada región y cada una de las curvas trazadas, para lo que ha obtenido la siguiente información:

T<sub>ebullición</sub> = 10 °C  
T<sub>fusión</sub> = 72,7 °C  
T<sub>crítica</sub> = 157 °C  
P<sub>crítica</sub> = 78 atm  
punto triple: - 75,5 °C y 1,63 x 10<sup>-3</sup> atm

Finalizada su pasantía en la isla de Tenerife, Rodrigo elaboró un informe que presentó en la Universidad de La Laguna y en el Centro de Estudios Vulcanológicos del Instituto de Investigaciones Científicas. Al regresar a la PUCP, EE.GG.CC. le solicitó que presente también un informe sobre su estadía, pero, cuando Rodrigo revisó sus cosas buscando el CD donde guardó dicho informe, se dio cuenta de que ya no lo tenía. Aparentemente, lo habría usado para archivar una serie de fotografías sobre su visita a distintos lugares de la isla. Rodrigo solicita tu colaboración para poder rehacer en corto tiempo su informe y te pide que le ayudes con los cálculos que él realizó.

## Referencias

### Myers, Bobbie y otros

1998 "Servicio Geológico de los Estados Unidos - Reduciendo el riesgo de los peligros volcánicos. ¿Cuáles son las amenazas o peligros volcánicos?". USGS Science for changing World. Consulta: 1 de febrero de 2010  
<<http://pubs.usgs.gov/fs/fs144-00/fs144-00.pdf>>

### Watson, John

1997 "Volcanic and Seismic Hazards on the Island of Hawaii". USGS Science for changing World. Consulta: 1 de febrero de 2010  
<<http://pubs.usgs.gov/gip/hazards/contents.html>>

2009 "Kilauea -- Perhaps the World's". USGS Science for changing World. Hawaiian Volcano Observatory. Consulta: 1 de febrero de 2010  
<<http://hvo.wr.usgs.gov/kilauea/>>

2009 "Volcano Hazards Program. Lava flows and their effects". USGS Science for changing World. Consulta: 1 de febrero de 2010  
<<http://volcanoes.usgs.gov/hazards/lava/index.php>>

2010 "Volcano Hazards Program. Types of volcano hazards". USGS Science for changing World. Consulta: 1 de febrero de 2010  
<<http://volcanoes.usgs.gov/index.php>>

2010 "Volcano Hazards Program. Volcanic gases and their effects". USGS Science for changing World. Consulta: 1 de febrero de 2010  
<<http://volcanoes.usgs.gov/hazards/gas/index.php>>

	Excelente >400 p	Bueno 265 < puntaje < 400	Regular 135 < puntaje < 265	Malo puntaje < 135
Objetivo  Leyes de los gases  100 PUNTOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Moles de SO<sub>2</sub> que arrojó el Kilauea</li> <li>• Volumen que hubiera ocupado el SO<sub>2</sub></li> <li>• Cálculo del volumen que ocupa el SO<sub>2</sub> a las condiciones de la presión en la boca del volcán</li> <li>• Volumen que ocupa el SO<sub>2</sub> a temperatura ambiente (83 °C)</li> <li>• Volumen del SO<sub>2</sub> utilizando la ley de los cambios triples</li> </ul> <p>✓ TODAS RESUELTAS ✓ SIN ERROR DE CÁLCULO</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Moles de SO<sub>2</sub> que arrojó el Kilauea</li> <li>• Volumen que hubiera ocupado el SO<sub>2</sub></li> <li>• Cálculo del volumen que ocupa el SO<sub>2</sub> a las condiciones de la presión en la boca del volcán</li> <li>• Volumen que ocupa el SO<sub>2</sub> a temperatura ambiente (83 °C)</li> <li>• Volumen del SO<sub>2</sub> utilizando la ley de los cambios triples</li> </ul> <p>✓ 4 PREGUNTAS RESUELTAS ✓ ERROR DE CÁLCULO EN 1 Ó 2 DE LAS PREGUNTAS</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Moles de SO<sub>2</sub> que arrojó el Kilauea</li> <li>• Volumen que hubiera ocupado el SO<sub>2</sub></li> <li>• Cálculo del volumen que ocupa el SO<sub>2</sub> a las condiciones de la presión en la boca del volcán</li> <li>• Volumen que ocupa el SO<sub>2</sub> a temperatura ambiente (83 °C)</li> <li>• Volumen del SO<sub>2</sub> utilizando la ley de los cambios triples</li> </ul> <p>✓ 3 PREGUNTAS RESUELTAS ✓ ERROR DE CÁLCULO EN 3 Ó MÁS PREGUNTAS</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Moles de SO<sub>2</sub> que arrojó el Kilauea</li> <li>• Volumen que hubiera ocupado el SO<sub>2</sub></li> <li>• Cálculo del volumen que ocupa el SO<sub>2</sub> a las condiciones de la presión en la boca del volcán</li> <li>• Volumen que ocupa el SO<sub>2</sub> a temperatura ambiente (83 °C)</li> <li>• Volumen del SO<sub>2</sub> utilizando la ley de los cambios triples</li> </ul> <p>✓ 2 PREGUNTAS RESUELTAS ✓ ERROR DE CÁLCULO</p>
Presiones parciales  70 PUNTOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cálculo de las presiones parciales de los 7 gases emanados por el Kilauea</li> </ul> <p>✓ TODAS RESUELTAS ✓ SIN ERROR DE CÁLCULO</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cálculo de las presiones parciales de los 7 gases emanados por el Kilauea</li> </ul> <p>✓ 5 PRESIONES PARCIALES ✓ SIN ERROR DE CÁLCULO</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cálculo de las presiones parciales de los 7 gases emanados por el Kilauea</li> </ul> <p>✓ 3 PRESIONES PARCIALES ✓ SIN ERROR DE CÁLCULO</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cálculo de las presiones parciales de los 7 gases emanados por el Kilauea</li> </ul> <p>✓ MENOS DE 2 PRESIONES PARCIALES</p>
Fuerzas intermoleculares  140 PUNTOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo de fuerzas en cada uno de los 7 gases</li> <li>• Orden creciente de punto de ebullición (7 gases)</li> <li>• Orden creciente de presión de vapor (7 gases)</li> <li>• Orden creciente de volatilidad (7 gases)</li> <li>• Variación de la viscosidad de la lava, explicando el por qué de la variación</li> <li>• Explicación del tipo de sólidos formados si los gases emitidos se solidificarán</li> <li>• Explicación sobre por qué algunos de los gases se disuelven en solución acuosa y otros no lo hacen</li> </ul> <p>✓ SIN ERRORES</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo de fuerzas en cada uno de los 7 gases</li> <li>• Orden creciente de punto de ebullición (7 gases)</li> <li>• Orden creciente de presión de vapor (7 gases)</li> <li>• Orden creciente de volatilidad (7 gases)</li> <li>• Variación de la viscosidad de la lava, explicando el por qué de la variación</li> <li>• Explicación del tipo de sólidos formados si los gases emitidos se solidificarán</li> <li>• Explicación sobre por qué algunos de los gases se disuelven en solución acuosa y otros no lo hacen</li> </ul> <p>✓ INTERPRETACIÓN DE FUERZAS CORRECTA, PERO ERROR EN UNO DE LOS ORDENES (PTO. DE EBULLICIÓN, PRESIÓN DE VAPOR O VOLATILIDAD) ✓ MALA EXPLICACIÓN DE VISCOSIDAD ✓ EXPLICACIÓN NO CLARA SOBRE LA DISOLUCIÓN DE GASES EN AGUA</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo de fuerzas en cada uno de los 7 gases</li> <li>• Orden creciente de punto de ebullición (7 gases)</li> <li>• Orden creciente de presión de vapor (7 gases)</li> <li>• Orden creciente de volatilidad (7 gases)</li> <li>• Variación de la viscosidad de la lava, explicando el por qué de la variación</li> <li>• Explicación del tipo de sólidos formados si los gases emitidos se solidificarán</li> <li>• Explicación sobre por qué algunos de los gases se disuelven en solución acuosa y otros no lo hacen</li> </ul> <p>✓ INTERPRETACIÓN DE FUERZAS CORRECTA, PERO ERROR EN DOS DE LOS ORDENES (PTO. DE EBULLICIÓN, PRESIÓN DE VAPOR O VOLATILIDAD) ✓ MALA EXPLICACIÓN DE VISCOSIDAD ✓ EXPLICACIÓN NO CLARA SOBRE LA DISOLUCIÓN DE GASES EN AGUA</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo de fuerzas en cada uno de los 7 gases</li> <li>• Orden creciente de punto de ebullición (7 gases)</li> <li>• Orden creciente de presión de vapor (7 gases)</li> <li>• Orden creciente de volatilidad (7 gases)</li> <li>• Variación de la viscosidad de la lava, explicando el por qué de la variación</li> <li>• Explicación del tipo de sólidos formados si los gases emitidos se solidificarán</li> <li>• Explicación sobre por qué algunos de los gases se disuelven en solución acuosa y otros no lo hacen</li> </ul> <p>✓ INTERPRETACIÓN DE FUERZAS CORRECTA, PERO ERROR EN LOS ORDENES (PTO. DE EBULLICIÓN, PRESIÓN DE VAPOR O VOLATILIDAD) ✓ MALA EXPLICACIÓN DE VISCOSIDAD ✓ EXPLICACIÓN NO CLARA SOBRE LA DISOLUCIÓN DE GASES EN AGUA</p>

<p>Curva de Calentamiento</p> <p>40 PUNTOS</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Explicación de por qué existe nieve en la boca del volcán Teide</li> <li>• Curva de calentamiento para el vapor de agua a las condiciones señaladas</li> </ul> <p>✓ EXPLICACIÓN CLARA DE POR QUÉ EXISTE NIEVE</p> <p>✓ CURVA CORRECTA</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Explicación de por qué existe nieve en la boca del volcán Teide</li> <li>• Curva de calentamiento para el vapor de agua a las condiciones señaladas</li> </ul> <p>✓ EXPLICACIÓN POCO CLARA DE POR QUÉ EXISTE NIEVE</p> <p>✓ CURVA CORRECTA</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Explicación de por qué existe nieve en la boca del volcán Teide</li> <li>• Curva de calentamiento para el vapor de agua a las condiciones señaladas</li> </ul> <p>✓ EXPLICACIÓN INCORRECTA DE POR QUÉ EXISTE NIEVE</p> <p>✓ CURVA CON ERRORES</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Explicación de por qué existe nieve en la boca del volcán Teide</li> <li>• Curva de calentamiento para el vapor de agua a las condiciones señaladas</li> </ul> <p>✓ EXPLICACIÓN INCORRECTA DE POR QUÉ EXISTE NIEVE</p> <p>✓ CURVA ERRADA</p>
<p>Diagrama de fases</p> <p>50 PUNTOS</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diagrama de fases para el <math>SO_2</math></li> </ul> <p>✓ DIAGRAMA CORRECTO SEÑALANDO TODOS LOS PUNTOS</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diagrama de fases para el <math>SO_2</math></li> </ul> <p>✓ DIAGRAMA CORRECTO PERO NO SEÑALA TODOS LOS PUNTOS</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diagrama de fases para el <math>SO_2</math></li> </ul> <p>✓ DIAGRAMA CON ALGUNOS ERRORES SEÑALANDO LOS PUNTOS</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diagrama de fases para el <math>SO_2</math></li> </ul> <p>✓ DIAGRAMA ERRADO</p>