

“ESTUDIO DEL FENÓMENO DE ADSORCIÓN EN SUPERFICIES SÓLIDAS”

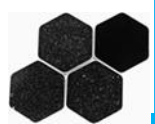
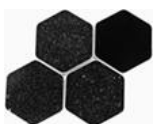


**SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO DE
PROFESORA EN QUÍMICA**

PRESENTADO POR: I. NATALIA RIVERO
DIRECTORA: DRA. ALEJANDRA MARIANO
CO-DIRECTORA: PROF. NANCI FARIAS

LUGAR DE TRABAJO:
Laboratorio de Fisicoquímica.
Departamento de Química.
Facultad de Ingeniería.

Neuquén
Noviembre 2023



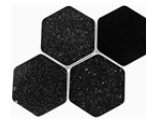
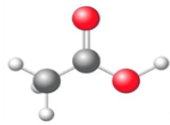
RESUMEN

La adsorción es un fenómeno que ocurre cuando hay atracción entre las moléculas de la superficie de un sólido (adsorbente) y las moléculas de un fluido (adsorbato). La propuesta de este trabajo es estudiar, analizar y caracterizar el comportamiento de la adsorción de ácido acético (adsorbato) en carbón activado como adsorbente sólido. Para ello, se realizaron experimentos termostatizados a diferentes temperaturas de trabajo. Con las mediciones obtenidas se construyeron las isothermas de adsorción de Langmuir, Freundlich, Sips y Tempkin para poder estudiar dicho fenómeno. Las isothermas se ajustaron muy bien al modelo de Langmuir y la de Freundlich a las tres temperaturas de trabajo y se evidenció una leve influencia de la temperatura sobre la cantidad adsorbida de soluto. Para completar el estudio del fenómeno superficial de adsorción se recopilaron datos de adsorción de ácido acético sobre carbón activado a temperatura ambiente, los cuales se procesaron y compararon con los experimentos realizados.

Analizando los resultados obtenidos se pudo confirmar que el mecanismo principal es el de quimisorción y que a medida que aumenta la concentración de las soluciones de ácido acético, mayor es la adsorción de ácido acético, ya que se incrementa el número de moles adsorbidos por gramo de carbón activado. También se calculó el área de adsorción por gramo de carbón activado para cada experiencia realizada.

Por último, se elaboró una propuesta de enseñanza para estudiantes de segundo año de escuelas secundarias, que trata el fenómeno de adsorción en superficies sólidas de una manera contextualizada y contemplando los aportes de la Didáctica de las Ciencias.

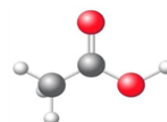
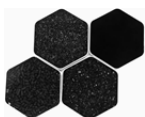
Palabras claves: Adsorción, isothermas, Langmuir, Freundlich, carbón activado, área superficial, propuesta de enseñanza, colorantes, talco, carbón.



DEDICATORIA

A MIS PADRES

A MIS HIJOS



AGRADECIMIENTOS

- ❖ A Dios por darme la vida, además de la voluntad, la sabiduría y salud para poder llegar a mis metas.
- ❖ A mis padres por su apoyo incondicional.
- ❖ A mis hijos que muchas veces tuvieron que esperar a que mamá termine la “tarea” para poder jugar.
- ❖ A mi pareja por acompañarme en este proyecto y etapa de mi vida.
- ❖ A todas las instituciones públicas que permitieron mi formación, y la de muchos otros compañeros.
- ❖ Al vivir en otra provincia veía complicado la realización de dicho seminario de investigación, pero no imposible, por eso quiero manifestar mi más sincero agradecimiento a las personas que hicieron posible la concreción de este trabajo, cuyos aportes y conocimientos fueron muy valiosos además de ayudar con paciencia y dedicación:
 - A mi directora Dra. Alejandra Mariano que me ha acompañado a comenzar este trabajo y seguir adelante hasta llegar al momento de finalización.
 - A mi Co-directora Prof. Nanci Farias que a pesar de no conocerme y tener una agenda muy ajustada se hizo un lugarcito para poder sumarse a este proyecto para que pueda terminar la carrera.

Además, quiero resaltar la calidez humana que también traspasó la pantalla de la computadora, celular, etc. ya que parte de este trabajo fue a distancia.

ÍNDICE	Pág
Resumen	ii
Capítulo 1: Introducción y objetivos	
1.1. Introducción.....	2
1.2. Objetivos.....	4
Capítulo 2: Marco teórico	
2.1. Adsorción.....	7
2.1.1. Adsorción física, fisisorción o fisiadsorción.....	7
2.1.2. Adsorción química, quimisorción o quimiadsorción.....	8
2.2. Isotermas de adsorción.....	9
2.3. Modelos de isotermas de adsorción.....	11
2.3.1. Modelo de Langmuir.....	11
2.3.2. Modelo de Freundlich.....	17
2.3.3. Modelo de B.E.T.....	18
2.3.4. Otros modelos.....	19
2.3.4.1. Modelo de Sips.....	20
2.3.4.2. Modelo de Tempkin.....	20
2.3.4.3. Modelo de Toth.....	21
2.3.4.4. Teoría de potencial de Polanyi.....	21
2.4. Adsorción de ácido acético en carbón activado.....	22
2.4.1. Efecto de la temperatura en la adsorción.....	23
2.4.2. Efecto del pH en la adsorción.....	23
2.4.3. Efecto de la fuerza iónica en la adsorción.....	24

2.4.4. Generalidades del ácido acético.....	25
2.4.5. Generalidades del carbón activado.....	27
2.4.5.1. Breve historia del carbón activado.....	27
2.4.5.2. ¿Qué es el carbón activado?.....	28
2.4.5.3. ¿Cómo se activa el carbón?.....	30
2.4.5.3.1. Activación física.....	30
2.4.5.3.2. Activación química.....	30
2.4.5.4. Principales materias primas y sus características.....	32
2.4.5.5. Tipos de carbón activado.....	33
2.4.5.5.1. Carbón activado granular.....	33
2.4.5.5.2. Carbón activado en polvo.....	35
2.4.5.5.3. Carbón activado pelletizado.....	35
2.4.5.6. Química superficial de los carbones activados.....	35
2.4.5.7. Usos y aplicaciones del carbón activado.....	39
2.4.5.8. Regeneración del carbón activado.....	40
2.4.5.8.1. Reactivación con ácido.....	41
2.4.5.8.2. Reactivación mediante la modificación del pH en solución acuosa.....	42
2.4.5.8.3. Reactivación biológica.....	42
2.4.5.8.4. Reactivación térmica a vacío.....	42

Capítulo 3: Materiales y métodos utilizados

3.1. Equipos y materiales.....	44
--------------------------------	----

3.1.1. Balanza de alta resolución.....	44
3.1.2. Balanza de baja resolución.....	44
3.1.3. Equipamiento para termostatación.....	45
3.1.4. Destilador.....	45
3.1.5. Materiales utilizados.....	46
3.2. Reactivos.....	47
3.3. Estudio de la adsorción de ácido acético en carbón activado.....	47
3.3.1. Descripción de la técnica analítica utilizada.....	47
3.3.2. Modelos isotérmicos de adsorción utilizados.....	52
3.3.2.1. Modelo de Langmuir.....	52
3.3.2.2. Modelo de Freundlich.....	53
3.4. Tratamiento de los residuos generados en el laboratorio.....	54

Capítulo 4: Resultados y Discusión

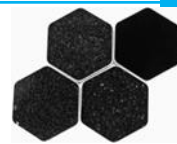
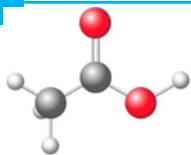
4.1. Isotermas de adsorción. Experimentos termostatizados a diferentes temperaturas.....	58
4.2. Isotermas de adsorción. Experimentos a temperatura ambiente, sin termostatar.....	69
4.3. Isotermas de adsorción. Experimentos termostatizados Vs. sin termostatar.....	72

Capítulo 5: Conclusiones

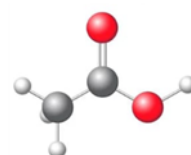
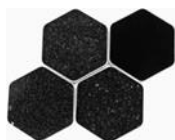
5. Conclusiones.....	76
----------------------	----

Capítulo 6: Propuesta de enseñanza. Diseño de una Unidad didáctica: “Colores de moda, una tendencia que va más allá de la próxima temporada...”

6. ¿En qué consiste la propuesta? ¿A quiénes va destinada?.....	79
6.1. Fundamentos.....	80
6.1.1. Posicionamiento epistemológico.....	80
6.1.2. Criterios de selección de contenidos.....	81
6.1.2.1. Contenidos que vinculan Ciencia, Tecnología y Sociedad.....	81
6.1.2.2. Contenidos que atiendan al enfoque de Educación Ambiental Integral (EAI) y al diseño curricular donde se aplica la Propuesta.....	82
6.1.2.3. Contenidos que despierten interés en los estudiantes.....	84
6.1.3. Criterios de organización y secuenciación de los contenidos.....	84
6.1.3.1. Diseño de UD.....	85
6.1.4. Criterio de evaluación.....	89
6.2. Transposición didáctica de los contenidos conceptuales centrales involucrados en la investigación sobre adsorción.....	89
6.2.1. Sobre la puesta a punto de las actividades experimentales.....	90
6.2.2. Sobre la modelización.....	93
6.3. Unidad didáctica.....	95
6.4. Reflexiones sobre el diseño de la propuesta de enseñanza.....	115
Referencias Bibliográficas.....	116
Anexo 1.....	125



CAPITULO 1
INTRODUCCIÓN
OBJETIVOS



1.1. INTRODUCCIÓN

El agua es de vital importancia para mantener la biodiversidad. Además, es innegable su importancia como recurso natural para el desarrollo de numerosas actividades sociales y económicas.

En los procesos industriales, especialmente en la industria química, pesquera, textil, de tratamiento de pieles y cueros, se consumen grandes cantidades de agua, generando importantes volúmenes de efluentes con una variedad de agentes contaminantes. Algunos de estos contaminantes pueden ser compuestos orgánicos sintéticos (como colorantes) y ácidos orgánicos. Uno de estos ácidos es el ácido acético, que además de provenir directamente de los efluentes de las industrias, también es generado a partir de compuestos orgánicos que reaccionan en el ambiente por procesos de oxidación. La contaminación del medio ambiente constituye uno de los problemas más críticos en el mundo y es por ello que ha surgido la necesidad de tomar conciencia y buscar alternativas para su solución. En este sentido, la adsorción en superficies sólidas podría ser una alternativa para eliminar distintos contaminantes del agua¹.

¿Qué es la adsorción en una superficie sólida?

Ciertos sólidos tienen la propiedad de fijar moléculas sobre su superficie, ya sean gaseosas o en solución. Este fenómeno se llama adsorción y se manifiesta en forma sensible cuando la superficie de separación de las fases es considerable (carbón activado, suspensiones coloidales, resinas intercambiadoras de iones, etc.). El sólido en cuya superficie se produce la adsorción se denomina adsorbente y las moléculas adsorbidas se denominan adsorbato (figura 1.1). El término adsorción es usado para indicar que la concentración de las moléculas adsorbidas sobre la superficie del sólido es mayor que en la fase gaseosa o en la solución.

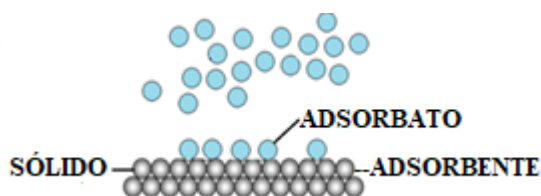


Figura 1.1. Esquema de adsorción

Fuente: Imagen extraída de apunte de Química Física avanzada, Universidad de Valencia. Tema 7. Superficies sólidas: adsorción y catálisis heterogénea.

¹ Aksu, Z. (2005); Forgacs, E., Cserháti, T. y Oros, G. (2004); Carmona, M., Pereira da Silva, M. y Ferreira Leiteb, S. (2005); Deng, H., Lua, J., Lib, G., Zhanga, G. y Wanga, X. (2011).

La adsorción es muy importante a nivel industrial y de laboratorio debido a su participación en muchos procesos tales como catálisis heterogénea, purificación de gases y líquidos, purificación de productos farmacéuticos, captura y uso de calor residual para proporcionar agua fría para el aire acondicionado (enfriadores de adsorción), en medicina para casos de intoxicación entre otros.

El fenómeno de adsorción en superficies sólidas resulta una alternativa interesante para la remoción de contaminantes, dado a que tiene un amplio espectro de materiales que pueden ser empleados como adsorbentes.

El carbón activado es el adsorbente más utilizado en la industria, debido a su bajo costo y a que la mayoría de sus propiedades químicas (por ejemplo, grupos de superficie) y físicas (por ejemplo, distribución del tamaño de los poros y área de la superficie) se pueden ajustar de acuerdo con lo que se necesite. También hay otros adsorbentes de bajo costo, poco estudiados y con gran potencial, tales como los desechos agroindustriales y el talco (mineral de aplicación industrial). Ambos constituyen un problema de contaminación debido a sus altos índices de producción y a su poco uso; lo que amerita que haya más investigaciones para su aplicación.

El ácido acético se puede remover por adsorción en superficies sólidas², este fenómeno físico-químico ofrece una alternativa sencilla y económica para colaborar, como ya se mencionó, en una posible solución a la contaminación del agua (Chen, 2015; Hernández et al., 2019). La propuesta de este trabajo es estudiar, analizar y caracterizar el comportamiento de la adsorción de este contaminante en carbón activado como adsorbente sólido.

¿Cómo se estudia el fenómeno de adsorción?

La adsorción se puede determinar midiendo la cantidad de gas adsorbido a una temperatura dada en función de la presión P del gas en equilibrio con el sólido. El recipiente que contiene al adsorbente se sitúa en un baño termostático y se separa del adsorbato gaseoso mediante una llave. El número de moles de gas n adsorbidos sobre una muestra sólida se puede calcular (empleando la ecuación de los gases ideales) a partir del cambio que se observa en la presión del gas cuando la muestra entra en contacto con el gas. Repitiendo la experiencia con diferentes presiones iniciales, se obtiene una serie de valores de los moles n adsorbidos frente

² Hernández, R., Carrasco, P., Mujica, R. y Espínola, M. (2007); García, J.O., Sánchez, A., Carvajal, Y., Suárez, E., Quesada, J. y Leiva, A. (2017); Velandia, C. (2013).

a la presión P del gas en equilibrio para una temperatura fija. Siendo m la masa del adsorbente, una representación de n/m (moles de gas adsorbidos/unidad de masa de adsorbente) frente a P , a T constante, constituye una *isoterma de adsorción*.

¿Cómo abordar contenidos disciplinares como la adsorción en la escuela?

A partir de los años 80, el movimiento CTS (Ciencia-Tecnología-Sociedad) se fue extendiendo en todo el mundo con el propósito de motivar y promover la “alfabetización” científica en la escuela. Al abordar temáticas CTS, los conocimientos escolares adquieren un sentido: se vinculan con problemas cotidianos y permiten a los estudiantes desarrollar el pensamiento crítico, comprender problemas reales y tomar decisiones en la sociedad (Sanmartí, 2002).

El estudio del agua como sistema complejo y dinámico en el que se llevan a cabo diversos procesos físicos, químicos y biológicos, puede aportar herramientas valiosas para la enseñanza de conceptos disciplinares al mismo tiempo que posibilitaría el desarrollo de procedimientos y actitudes positivas para el aprendizaje de las ciencias naturales. La contaminación del agua es una temática CTS que es necesario abordar desde los primeros años de escolarización y su relevancia en la región del Comahue es especial.

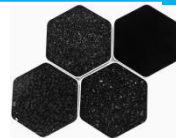
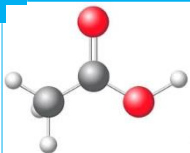
En una propuesta de enseñanza, que forma parte de las actividades de este trabajo integrador, se propone abordar la contaminación del agua con sustancias colorantes y el posible tratamiento de este recurso vital a través del fenómeno de adsorción con adsorbentes de uso cotidiano tal como es el caso del talco³ y el carbón.

1.2. OBJETIVOS

- ❖ Estudiar el fenómeno de adsorción.
- ❖ Analizar el comportamiento de la adsorción de ácido acético sobre carbón activado.
- ❖ Estudiar los tipos de isotermas de adsorción a diferentes temperaturas.
- ❖ Poner en práctica procesos y actitudes de análisis crítico de los datos y de la literatura, durante el proceso de investigación.

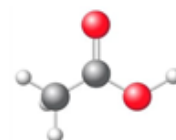
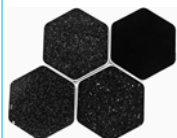
³ Zaupa, J., Grafía, A., Castillo, L. y Barbosa, S. (2016).

- ❖ Elaborar una propuesta de enseñanza para un segundo año en la asignatura Fisicoquímica, destinada para un colegio de la provincia de Neuquén, que involucre contenidos sobre adsorción y que contemple los nuevos aportes de la Didáctica de las Ciencias.



CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO



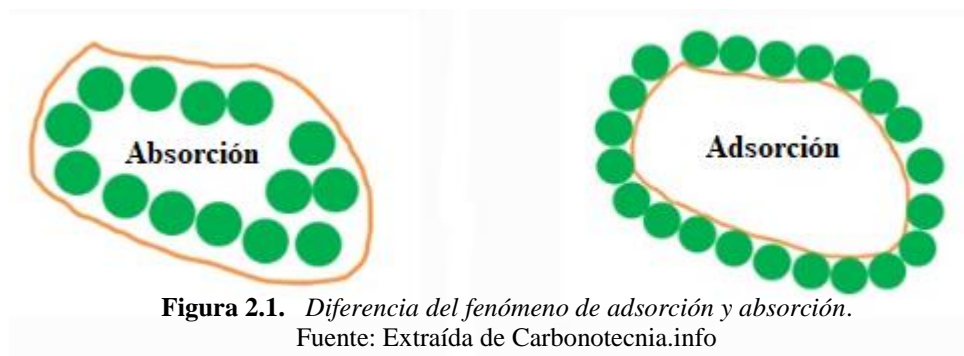
2. MARCO TEÓRICO

2.1. ADSORCIÓN

De acuerdo a lo que establece la International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) se define al fenómeno de adsorción como el enriquecimiento de uno o más componentes de un fluido en la región de la interfase formada entre éste y el sólido.

Cuando una molécula de fluido golpea una superficie sólida, puede rebotar o quedar fija sobre la superficie, es decir, sufrir una adsorción. La molécula adsorbida puede difundir, quedar fija, puede sufrir una reacción química o puede disolverse en el interior del sólido y en ese caso daría lugar a un fenómeno de absorción.

El término adsorción fue propuesto en 1881 por el físico alemán Heinrich Kayser (1853-1940), para diferenciarlo del término absorción (figura 2.1). Muchas veces no se puede distinguir un fenómeno de otro y en esos casos se habla de fenómeno de sorción.



Hay dos tipos de adsorción, la física y la química; la línea de división entre ambas no está siempre muy clara.

2.1.1. ADSORCIÓN FÍSICA, FISISORCIÓN O FISIADSORCIÓN

Las moléculas de adsorbato se mantienen unidas a la superficie del adsorbente por medio de fuerzas de Van der Waals. Este hecho define todas las características propias de la fisisorción:

- ❖ Es una interacción débil.
- ❖ Es un proceso exotérmico donde los calores de adsorción son bajos, menores de 10 kcal/mol.
- ❖ La molécula fisisorbida mantiene su identidad ya que la energía es insuficiente para romper el enlace, aunque su geometría puede estar distorsionada.

- ❖ La fisisorción es un proceso no específico, no existe una selectividad marcada entre adsorbato y adsorbente. En general, los gases muy polarizables son adsorbidos más fácilmente.
- ❖ Este tipo de adsorción puede ocurrir en cualquier sistema a bajas temperaturas y las fuerzas son semejantes a las que causan la condensación de gases en líquidos o sólidos.
- ❖ La fisisorción se produce en multicapas (figura 2.2). Sobre una capa de gas fisisorbida puede adsorberse otra. El ΔH_{ads} para la primera capa viene determinada por las fuerzas de atracción entre adsorbente (M) y adsorbato (A), mientras que el ΔH_{ads} para las capas siguientes depende de las interacciones A-A y por tanto es similar a la entalpía de condensación de la sustancia adsorbida.

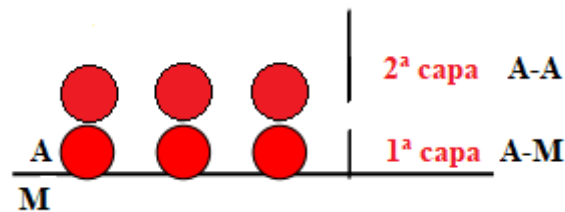


Figura 2.2. Esquema de una adsorción física.

Fuente: Adaptación apunte de Química Física avanzada, Universidad de Valencia. Tema 7.
Superficies sólidas: adsorción y catálisis heterogénea.

2.1.2. ADSORCIÓN QUÍMICA, QUIMISORCIÓN O QUIMIADSORCIÓN

En este tipo de adsorción las moléculas de adsorbato se mantienen unidas al adsorbente formando un enlace químico fuerte. Este hecho define las características propias de la quimisorción:

- ❖ Se trata de una interacción más fuerte que la fisisorción.
- ❖ Las entalpías de quimisorción son mayores que las de fisisorción entre 10 y 100 kcal/mol y las fuerzas que actúan son las que corresponden a un tipo de enlace iónico (Cl⁻ en AgCl) o del tipo covalente (O₂ en metales). Si en la quimisorción se produce formación y rotura de enlaces podrían esperarse valores de ΔH_{ads}° tanto positivos como negativos (al igual que en las reacciones químicas ordinarias). Sin embargo, la quimisorción es generalmente exotérmica. La razón es que un proceso espontáneo requiere $\Delta G < 0$ y dado que la libertad de traslación del adsorbato se reduce, ΔS es menor que cero y necesariamente ΔH debe ser menor que cero ($\Delta G = \Delta H - T\Delta S$). Puede

haber excepciones si el adsorbato se disocia y/o tiene una movilidad elevada sobre la superficie. Ejemplo: el H_2 se adsorbe endotérmicamente sobre vidrio, ya que aumenta la entropía.

- ❖ La quimisorción es específica, es decir depende de la sustancia que se adsorbe y del adsorbente. Por ejemplo el N_2 es quimisorbido a temperatura ambiente sobre Fe, W, Ca y Ti, pero no sobre Ni, Zn, Ag, Cu o Pb. El Au es quimisorbido sobre O_2 , C_2H_2 y CO pero no sobre H_2 , CO_2 o N_2 .
- ❖ En general, la quimisorción implica la rotura y formación de enlaces, por lo que la molécula quimisorbida no mantiene la misma estructura electrónica (enlaces). Se modifican los ángulos de las moléculas adsorbidas e incluso provoca la disociación de la molécula en sus átomos.
- ❖ Dado que implica la formación de un enlace entre adsorbato y adsorbente, el proceso se detiene tras la formación de una monocapa sobre la superficie.

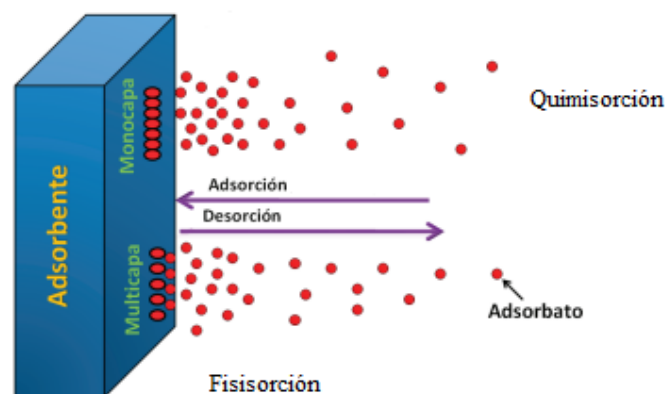


Figura 2.3. Esquema de adsorción química y adsorción física.
Fuente: Adaptado de Correa, F., Gómez, J. y Martínez, J. (2010).

2.2. ISOTERMAS DE ADSORCIÓN

Una de las formas más habituales de representación del equilibrio de adsorción es mediante la relación entre la cantidad adsorbida y la presión, en el caso de gases o vapores, o la concentración de sustancias disueltas en líquidos, en el caso de adsorción de líquidos, para una temperatura determinada. Esta relación se conoce como isoterma de adsorción para un determinado sistema adsorbato-adsorbente. Las isotermas de adsorción se pueden clasificar atendiendo a cinco tipos tal como se muestra en la figura 2.4, donde la P^* es la presión de vapor a la temperatura de trabajo. A P^* cualquier pequeño aumento en la cantidad de gas produciría su condensación, aumentando entonces verticalmente la cantidad de gas

“adsorbida” sobre el sólido la presión en equilibrio sería siempre igual, por lo que deja de tener sentido estudiar la adsorción a partir de ese valor. Esta clasificación fue propuesta por Brunauer y sus colaboradores en el año 1938 y en la actualidad es la recomendada por la IUPAC.

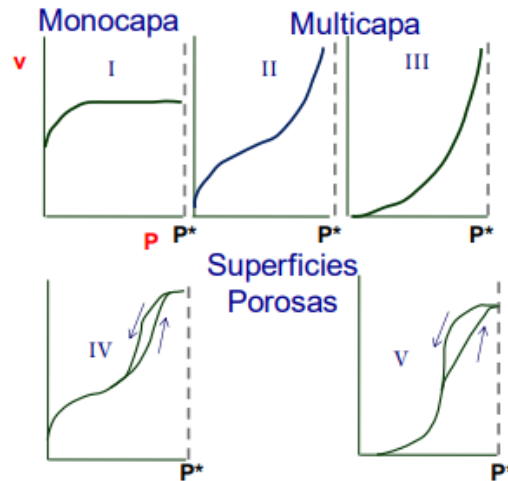


Figura 2.4. Clasificación de isothermas según Brunauer (1938).

Fuente: Imagen extraída de apunte de Química Física avanzada, Universidad de Valencia. Tema 7. Superficies sólidas: adsorción y catálisis heterogénea.

Tipo I: Corresponde a una adsorción en monocapa. La cantidad adsorbida aumenta con P hasta alcanzar un valor límite correspondiente al recubrimiento de la superficie por una monocapa. Es la isoterma característica de un proceso únicamente de quimisorción.

Tipo II: Es indicativo de una adsorción física en multicapa. El rápido ascenso inicial corresponde a la formación de la primera capa, que tiene en este caso una constante de formación mayor que para el resto de capas (la entalpía de formación de la primera capa es más negativa que para el resto de capas). Al seguir aumentando la presión se forma la segunda capa de moléculas adsorbidas, seguida de otras más.

Tipo III: Corresponde también a una adsorción física en multicapas pero donde la constante de equilibrio de formación de la primera capa es igual que para las siguientes (no se observa diferencia entre el llenado de la primera capa y del resto).

Tipos IV y V: corresponde a adsorción en multicapas sobre materiales porosos. Difieren del Tipo II y III por la presencia de una rama horizontal (saturación) y un ciclo de histéresis (las curvas de adsorción y desorción difieren). El ciclo de histéresis es debido a la condensación por la forma irregular de los capilares.

2.3. MODELOS DE ISOTERMAS DE ADSORCIÓN

Con objeto de representar matemáticamente las isotermas de adsorción obtenidas experimentalmente, suelen emplearse los denominados modelos de isotermas de adsorción, los cuales aportan herramientas para la interpretación de resultados. A continuación se estudiarán las isotermas más usadas.

2.3.1. MODELO DE LANGMUIR

Irving Langmuir (1881-1957), quien recibió el Premio Nobel en Química en 1932, fue uno de los primeros investigadores que comenzó a estudiar los fenómenos químicos de superficie y la química del sólido. En 1918 dedujo la isoterma Tipo I empleando un modelo simplificado de la superficie de un sólido.

Este modelo supone que la adsorción máxima se debe a la formación de una monocapa saturada de moléculas de adsorbato, y que las moléculas de adsorbato se adsorben en sitios bien definidos y diferentes del material sólido adsorbente y donde la energía de adsorción es constante (superficie homogénea).

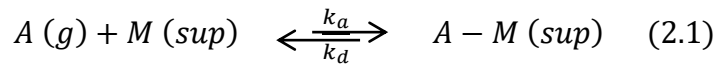
La teoría propuesta por Langmuir supone que el material sólido adsorbente cuenta con un número fijo de sitios propicios para la adsorción. Al momento de iniciarse la adsorción, parte de estos sitios están ocupados por moléculas de adsorbato y una fracción de estos sitios está libre.

Esta teoría postula varios principios:

- En el material adsorbente, todos los sitios libres tienen la misma energía.
- La adsorción entre el material adsorbente y las moléculas de adsorbato implica la formación de enlaces químicos, es decir, sólo considera la formación de una sola capa de moléculas sobre la superficie del adsorbente.
- Todo material adsorbente tiene un número de sitios adsorptivos limitados, es decir, depende de la cantidad de material adsorbente que se esté analizando.
- Cada sitio adsorptivo solo es ocupado por una sola molécula de adsorbato, es decir, no existen interacciones laterales entre las moléculas. Esto además determina una relación 1:1 entre los sitios adsorptivos del material adsorbente y las moléculas de adsorbato, es decir, no pueden adsorberse más moléculas de las que los sitios adsorptivos son capaces de adsorber.

Este modelo fue el primero que explica el proceso de adsorción. Es un modelo puramente teórico, pero es muy utilizado para hacer aproximaciones experimentales en varios sistemas.

El proceso dinámico de adsorción se puede plantear como:



A: Es el adsorbato gaseoso

M: Es un sitio o lugar desocupado sobre la superficie

k_a : Constante de velocidad para la adsorción

k_d : Constante de velocidad para la desorción

Para expresar el grado de extensión de la adsorción se introduce la fracción de recubrimiento θ . Teniendo en cuenta que sobre cada posición sólo puede adsorberse una molécula:

$$\theta = \frac{\text{N}^\circ \text{ de sitios activos ocupados}}{\text{N}^\circ \text{ sitios activos disponibles(N)}} \quad (2.2)$$

N es el número total de posiciones de adsorción en la superficie.

En un instante t se cumple:

- número de posiciones de adsorción ocupadas es igual a θN
- número de posiciones de adsorción libres es igual $N(1 - \theta)$

Se obtiene que la velocidad de adsorción es proporcional al número de colisiones entre las moléculas de la fase gaseosa y las posiciones de adsorción vacías, ya que sólo se forma una monocapa:

$$v_a = k_a P(1 - \theta)N \quad (2.3)$$

La velocidad de desorción será proporcional al número de moléculas adsorbidas

$$v_d = k_d N\theta \quad (2.4)$$

Las dos velocidades se igualan al llegar al equilibrio, de donde se obtiene:

$$k_a P N(1 - \theta) = k_d N\theta \quad (2.5)$$

Si despejamos la fracción de recubrimiento:

$$\theta = \frac{k_a P}{k_d + k_a P} \quad (2.6)$$

Definiendo la constante de equilibrio como $K = k_a/k_d$ se obtiene la isoterma de Langmuir:

$$\theta = \frac{KP}{1 + KP} \quad (2.7)$$

K es el coeficiente de adsorción con unidades de Presión⁻¹ y los valores son específicos para el gas y la superficie. También depende de la temperatura.

Alternativamente, la ecuación (2.7) puede reordenarse y escribirse como se muestra a continuación.

$$KP = \frac{\theta}{1 - \theta} \quad (2.8)$$

Experimentalmente, el grado de recubrimiento puede obtenerse por la relación entre el volumen de gas adsorbido a la presión P y el volumen adsorbido cuando la monocapa está completa:

$$\theta = \frac{V}{V_{mon}} \quad (2.9)$$

V_{mon} es el volumen de gas adsorbido en una monocapa por gramo de sólido.

Podemos expresar la ecuación anterior (2.9) en términos del volumen así:

$$\theta = \frac{V}{V_{mon}} = \frac{KP}{1 + KP} \quad (2.10)$$

La ecuación de Langmuir a baja presión tiene forma lineal (figura 2.5), ya que el término KP en el denominador será mucho menor que la unidad. Esto es:

$$\theta = KP \quad (2.11)$$

Sin embargo, a presión elevada $\theta \sim 1$, es decir V se aproxima al valor V_{mon} (figura 2.5).

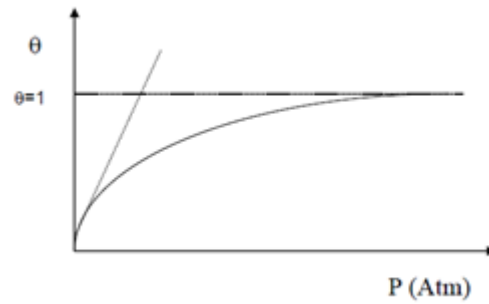


Figura 2.5. Gráfica de θ vs. P

Fuente: Imagen extraída de apunte de Química Física avanzada, Universidad de Valencia. Tema 7. Superficies sólidas: adsorción y catálisis heterogénea.

Con el fin de determinar si los datos de la isoterma de equilibrio se pueden modelar mediante la ecuación de Langmuir, reescribimos la ecuación (2.10) de forma de linealizar la misma.

$$\frac{1}{V} = \frac{1}{KV_{mon}P} + \frac{1}{V_{mon}} \quad (2.12)$$

Si la ecuación proporciona un ajuste válido para los datos, una gráfica de $1/V$ contra $1/P$ daría una línea recta y se podrían evaluar las dos constantes, V_m y K , a partir de la pendiente y ordenada al origen (figura 2.6).

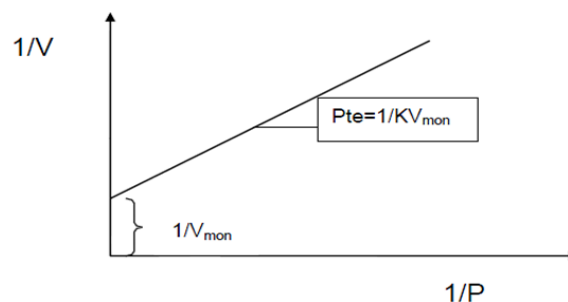


Figura 2.6. Gráfico de $1/V$ vs. $1/P$

Fuente: Imagen extraída de apunte de Química Física avanzada, Universidad de Valencia. Tema 7. Superficies sólidas: adsorción y catálisis heterogénea.

La ecuación de Langmuir se esperaría que ajustara los datos que corresponden a la forma de la isoterma del tipo I. Otra forma de expresar la ecuación de Langmuir es de la siguiente manera:

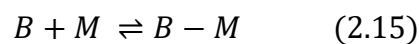
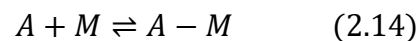
$$q = \frac{q_m K C_e}{1 + K C_e} \quad (2.13)$$

Siendo q ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) la cantidad adsorbida por gramo de adsorbente, C_e ($\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$) la concentración en el equilibrio de adsorbato correspondiente a q , q_m ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) la cantidad

máxima de adsorbato para la formación de la monocapa y K ($L \cdot mg^{-1}$) la constante de equilibrio, relacionada con el calor de adsorción.

Al deducir la isoterma de Langmuir se supone que sólo se adsorbe una especie gaseosa y que la adsorción es no disociativa (la molécula se adsorbe tal cual es, es decir no hay ruptura de enlace).

Si tenemos dos gases A y B, los cuales sufren adsorción no disociativa sobre la misma superficie



Cuando dos gases compiten por los mismos centros de adsorción, entonces se ha de resolver los dos equilibrios simultáneamente para obtener las fracciones de recubrimiento del gas A (θ_A) y del gas B (θ_B) en función de las presiones de A y B (P_A y P_B). Teniendo en cuenta que la fracción de centros libres será $1 - \theta_A - \theta_B$, los equilibrios se pueden escribir como:

$$K_A = \frac{N\theta_A}{N(1 - \theta_A - \theta_B)P_A} \quad (2.16)$$

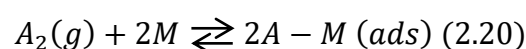
$$K_B = \frac{N\theta_B}{N(1 - \theta_A - \theta_B)P_B} \quad (2.17)$$

Las soluciones para las fracciones de recubrimiento, despejando de las expresiones anteriores son:

$$\theta_A = \frac{K_A P_A}{1 + K_A P_A + K_B P_B} \quad (2.18)$$

$$\theta_B = \frac{K_B P_B}{1 + K_A P_A + K_B P_B} \quad (2.19)$$

La adsorción disociativa es cuando un gas se disocia al quimiadsorberse entonces se necesitan dos posiciones de adsorción para fijar los fragmentos producidos.



La velocidad de adsorción es proporcional a la presión y a la probabilidad de que ambos átomos encuentren posiciones de adsorción disponibles simultáneamente.

$$v_a = k_a P [N(1 - \theta)]^2 \quad (2.21)$$

La velocidad de desorción es proporcional a la frecuencia de encuentros de dos átomos sobre la superficie y, por tanto, de los centros ocupados al cuadrado:

$$v_d = k_d (N\theta)^2 \quad (2.22)$$

En el equilibrio se igualan las velocidades $v_a = v_d$ quedando:

$$k_a N^2 \theta^2 = k_d N^2 (1 - \theta)^2 \quad (2.23)$$

Despejando la fracción de recubrimiento la expresión resulta:

$$\theta = \frac{(KP)^{1/2}}{1 + (KP)^{1/2}} \quad (2.24)$$

El recubrimiento superficial depende ahora en forma menos marcada de la presión que en la adsorción no disociativa.

Las curvas correspondientes a las isothermas de Langmuir con y sin disociación son muy similares. La fracción de recubrimiento aumenta con el aumento de la presión y se acerca a 1 a presiones muy altas. En la figura 2.7 se observan curvas para distintas temperaturas, que corresponden a diferentes valores de K.

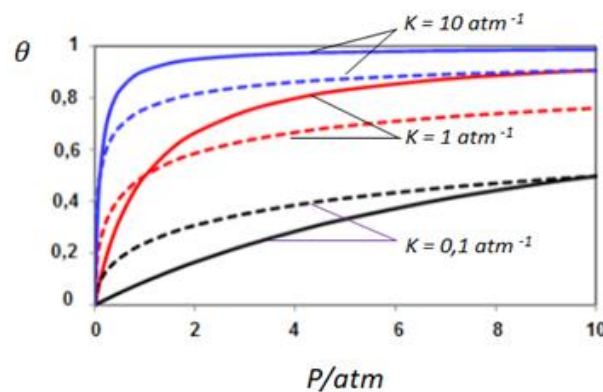


Figura 2.7. Isothermas de Langmuir sin disociación (líneas continuas) y con disociación (líneas discontinuas) para diferentes valores de K. Fuente: Imagen modificada de apunte de Química Física avanzada, Universidad de Valencia. Tema 7. Superficies sólidas: adsorción y catálisis heterogénea.

Limitaciones de la isoterma de Langmuir:

Las suposiciones usadas en la deducción de Langmuir no son completamente verdaderas:

- No todas las posiciones son equivalentes.
- Existen interacciones entre las moléculas adsorbidas y las mismas pueden ser significativas, influyendo en el grado de ocupación y en la afinidad entre adsorbato y adsorbente.
- Pueden formarse capas de fisisorción.

2.3.2. MODELO DE FREUNDLICH

Una de las isothermas empíricas más utilizadas es la propuesta por Freundlich a finales del siglo XIX.

El modelo de Freundlich, considera a la superficie del material adsorbente como una superficie que contiene diferentes tipos de centros de adsorción. A diferencia del modelo isotérmico de Langmuir, no se limita a la adsorción en monocapa, también se puede aplicar a la adsorción en multicapa¹. El modelo de Freundlich describe la adsorción en monocapa cuando la quimisorción es el mecanismo de adsorción principal; mientras que describe la adsorción en multicapa cuando la fisisorción es el mecanismo principal. Su representación algebraica se presenta en la Ecuación (2.25):

$$q = k_F C_e^{1/n} \quad (2.25)$$

Siendo q ($mg g^{-1}$) la cantidad adsorbida por gramo de adsorbente, C_e ($mg mL^{-1}$) la concentración en el equilibrio de adsorbato correspondiente a q , k_F ($mg g^{-1} (mg L^{-1})^n$) es la constante de Freundlich relacionada con la capacidad de adsorción y; n (adimensional) representa una medida de la intensidad de la adsorción.

Los parámetros de ajuste k_F y n (normalmente entre 1 y 10) son constantes propias de la isoterma. Se pueden obtener del ajuste lineal de la expresión en forma logarítmica:

$$\ln q = \ln k_F + (1/n) \ln C_e \quad (2.26)$$

Se admite una distribución logarítmica de sitios activos cuando no existen interacciones apreciables entre las moléculas del adsorbato. Esta isoterma no es válida para presiones altas

¹ Xinyu, C., & Faysal Hossain., & Chengyu, D., & Jian, L., & Yiu Fai., & Shoffikul, I., & Yanbo, Z. (2002). Isotherm models for adsorption of heavy metals from wáter. *Chemosphere*. www.elsevier.com/locate/chemosphere

pero es más precisa que la de Langmuir a presiones intermedias. Se utiliza generalmente para describir la adsorción de solutos disueltos en un líquido sobre sólidos.

2.3.3. MODELO DE B.E.T

La isoterma de Langmuir no plantea la posibilidad de formación de capas de fisisorción sobre la capa de moléculas inicial, motivo por el que se llega a una saturación de la superficie a presiones altas. Si se admite la posibilidad de formación de multicapas, el crecimiento sería indefinido hasta producirse la condensación del gas. La isoterma más usada para analizar la adsorción en multicapas se debe a S. Brunauer, P. Emmett y E. Teller (1938) denominada isoterma BET.

El modelo incluye las consideraciones básicas de la ecuación de Langmuir para su deducción:

- Todos los centros de adsorción de la superficie son equivalentes.
- La capacidad de adsorción de un centro no depende del grado de ocupación de los centros vecinos.
- Sobre cada centro pueden adsorberse varias capas de moléculas, siendo el calor de adsorción para todas ellas equivalentes excepto para la primera.

La ecuación de BET linealizada se puede expresar de la forma siguiente:

$$\frac{P}{V(P^* - P)} = \frac{1}{V_{mon}c} + \frac{(c - 1) P}{V_{mon}c P^*} \quad (2.27)$$

Donde V_{mon} es el valor correspondiente al volumen de una monocapa, c es una constante a una temperatura dada y P^* es la presión de vapor del adsorbato a la temperatura del experimento (para $P = P^*$ el gas se condensa). Se pueden encontrar c y V_{mon} a partir de la pendiente y la ordenada en el origen. La isotema Brunauer, Emmett y Teller (BET) ajusta bien muchas isotermas de tipo II, especialmente a presiones intermedias.

Una vez obtenido el V_{mon} , se conoce el número de moléculas necesarias para formar una monocapa y se puede estimar la superficie del sólido adsorbente empleando un valor aproximado del área superficial ocupada por una molécula adsorbida. En la figura (2.8) se puede observar cómo la forma de la isoterma depende de los valores de c :

- ❖ Cuando $c \rightarrow \infty$, si la constante de formación (K^*) de las capas siguientes a la primera es cero, entonces la isoterma de BET se reduce a una isoterma de Langmuir. Corresponde a una isoterma tipo I.
- ❖ Un valor grande de c ($c \approx 100$) indica que la constante de formación de la primera capa es mucho mayor que la constante de formación de las capas siguientes. Una vez formada la primera capa empieza a notarse la formación del resto. Esta curva corresponde a la isoterma de tipo II.
- ❖ Si $c = 1$ todas las capas tienen una misma constante de formación. En este caso, la formación de todas las capas avanza gradualmente y la curva corresponde a las isotermas de tipo III.
- ❖ Hay que señalar que el caso $c < 1$ ($K^* > K$) no tiene sentido pues en este caso las moléculas de adsorbato tendrían mayor afinidad entre sí que con la superficie y no se produciría la adsorción.

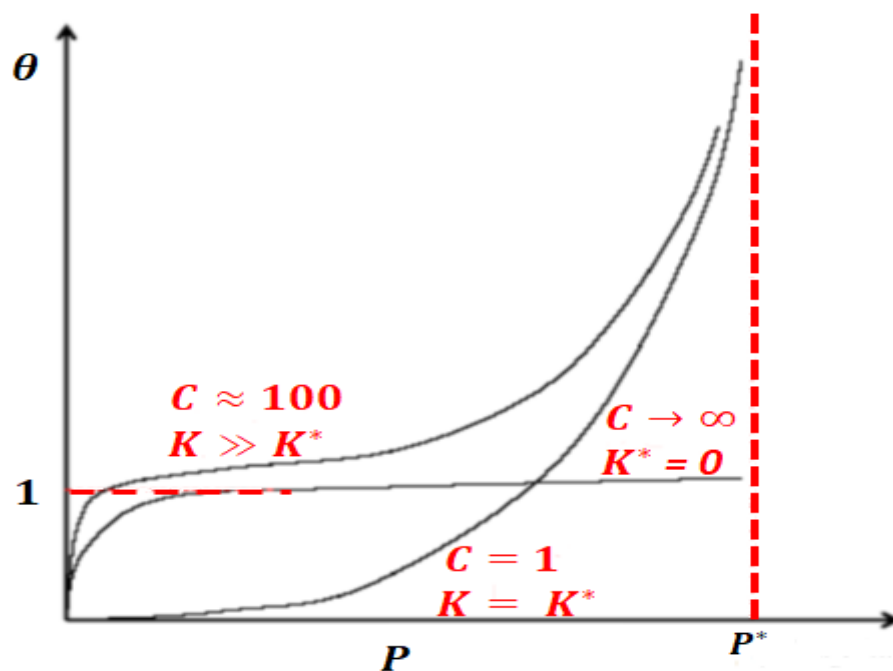


Figura 2.8. θ vs. P

Fuente: Imagen extraída de apunte de Química Física avanzada, Universidad de Valencia.

Tema 7. Superficies sólidas: adsorción y catálisis heterogénea

2.3.4. OTROS MODELOS

Además de la adsorción en monocapas y multicapas, se han desarrollado modelos para describir situaciones en que el adsorbato se presenta en forma local en sitios específicos, o bien se mueve sobre la superficie del adsorbente. Se han hecho consideraciones para casos en

que las moléculas interactúan no sólo con la superficie, sino también entre sí. A continuación se describen algunos de estos modelos.

2.3.4.1. MODELO DE SIPS

También denominado modelo de Langmuir-Freundlich, dado que es resultado de una combinación de ambas ecuaciones. Al igual que en la modelización de Freundlich, es un modelo empírico que supone una superficie heterogénea y con un número de sitios activos que interaccionan con las moléculas de adsorbato sin interacciones adsorbato-adsorbato.

El modelo de Sips se expresa matemáticamente en la ecuación (2.28):

$$q = q_m \frac{(K_{LF}C_e)^{1/n}}{1 + (K_{LF}C_e)^{1/n}} \quad (2.28)$$

Siendo q la cantidad adsorbida por gramo de adsorbente, C_e la concentración en el equilibrio de adsorbato correspondiente a q , q_m la cantidad máxima de adsorbato para la formación de la monocapa y K_{LF} ($L \cdot mg^{-1}$) la constante de Langmuir-Freundlich. K_{LF} representa el parámetro relacionado a la afinidad del adsorbato por la superficie y n es el parámetro que representa la heterogeneidad del sistema.

2.3.4.2. MODELO DE TEMPKIN

El modelo de isoterma de Tempkin supone que no existe interacción molecular entre las especies del adsorbato, se utiliza para sistemas cuya entalpía de adsorción decrece linealmente con θ , factor que no se tiene en cuenta en las isotermas de Langmuir. Este modelo es excelente para predecir el equilibrio en la fase gaseosa, sin embargo presenta desventajas para representar sistemas complejos de adsorción como la adsorción en fase líquida.

$$\theta = A \ln(BP) \quad (2.29)$$

Donde A y B son dos constantes empíricas, que se pueden obtener de la representación lineal de la ecuación 2.29:

$$\theta = A \ln B + A \ln P \quad (2.30)$$

La ecuación (2.30) permite obtener A de la pendiente y B de la ordenada en el origen.

2.3.4.3. MODELO DE TOTH

El modelo de Toth presenta gran semejanza al modelo de Langmuir, pero que toma en cuenta los procesos de difusión. La isoterma de Toth está definida como:

$$q_e = \frac{q_0 b C_e}{[1 + (b C_e)t]^{1/t}} \quad (2.31)$$

Los parámetros de la isoterma se consideraron dependientes de la temperatura, es decir:

$$b = b_0 \left[\frac{\Delta H}{RT} \left(\frac{T_0}{T} + 1 \right) \right] \quad (2.32)$$

$$T = T_0 + \alpha \left[1 - \frac{T_0}{T} \right] \quad (2.33)$$

Donde q_e es la cantidad adsorbida expresada en mg/ g y C_e es la concentración del soluto en el equilibrio expresada en mg/L. Los parámetros² de la isoterma son: q_0 (cantidad adsorbida), b_0 (constante de Toth), ΔH (entalpía), T_0 (temperatura inicial) y α (constante).

2.3.4.4. TEORÍA DE POTENCIAL DE POLANYI

La teoría del potencial de Polanyi, también llamada teoría del potencial de adsorción de Polanyi, es un modelo de adsorción propuesto por Michael Polanyi³ donde se aplicó ampliamente a la adsorción de gases en multicapas y consideró que existe un campo potencial en la superficie de un sólido, el cual ejerce una intensa fuerza de atracción sobre el gas circundante.

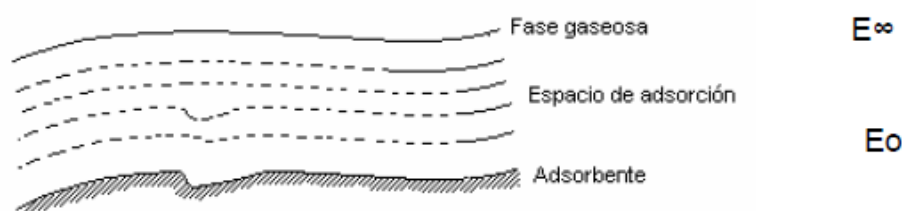


Figura 2.9. Esquema de la teoría de Polanyi. Fuente: Imagen extraída Morales, N. (2007)

² Morales, N. (2007); Prieto et al., 2009

³ Martín, J.M. (1990). *Adsorción física de gases y vapores por carbones*. Universidad de Alicante, Secretariado de Publicaciones. 376 p. <http://hdl.handle.net/10045/4291>. Morales, N. (2007). *Estudio preliminar de la adsorción de los ácidos acético y benzoico con adsorbentes de bases silícica*. Universidad Central “Martha Abreu” de Las Villas.

En la figura (2.9) se muestra una sección de la fase adsorbida y superficies equipotenciales, como se propuso mediante la teoría potencial. El potencial sobre la superficie es E_0 , con superficies potenciales alejadas de la superficie del adsorbente por $E_1, E_2, \dots, E_\infty$. El potencial de adsorción se define como el trabajo realizado por las fuerzas de adsorción al traer una molécula desde la fase gaseosa hasta algunas superficies equipotenciales en la fase adsorbida. Suponiendo que la fase gaseosa es ideal y que el fluido en la fase adsorbida es incompresible, el potencial de adsorción pasa a ser el trabajo isotérmico de compresión y se expresa así:

$$\varepsilon = \int_{P_x}^{P^0} RT \frac{dP}{P} = RT \ln \frac{P^0}{P_x} \quad (2.34)$$

Donde P^0 es la presión de vapor del líquido y P_x es la presión de la fase gaseosa.

La teoría de Polanyi permite, para un sistema adsorbato-adsorbente, determinar isothermas a otras temperaturas.

2.4. ADSORCIÓN DE ÁCIDO ACÉTICO EN CARBÓN ACTIVADO

La adsorción depende de la naturaleza y la estructura del adsorbente, de las propiedades físico-químicas del adsorbato y del medio en el cual la adsorción debe efectuarse. El medio puede intervenir modificando las propiedades físico-químicas del adsorbente (solubilidad, carga superficial, carácter hidrófobo/hidrófilo, etc.), modificando la accesibilidad a los sitios de adsorción por recubrimiento de la superficie externa del adsorbente o introduciendo compuestos susceptibles de entrar en competición con la molécula de interés.

La propuesta de este trabajo es estudiar, analizar y caracterizar el comportamiento de la adsorción del ácido acético como adsorbato en carbón activado como adsorbente sólido. Es decir se estudia el fenómeno superficial de adsorción de un soluto disuelto en un solvente, agua, sobre un sólido y se utilizan los modelos de Langmuir y Freundlich. Como ya se mencionó la adsorción está influenciada por factores asociados tanto al tipo de adsorbente como al adsorbato. A su vez, la adsorción de un soluto en solución es afectada por un conjunto de factores relacionados únicamente a las características de la solución (pH, temperatura y fuerza iónica), las cuales son igualmente importantes y deben tenerse en cuenta al momento de estudiar el proceso (Leyva Ramos, 2007; Roca Jalil, 2015).

2.4.1. EFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA ADSORCIÓN

En el caso de la temperatura, deben considerarse dos situaciones que afectan de manera diferente al fenómeno de adsorción. Uno de ellos es que, al aumentar la temperatura, por ser un proceso exotérmico, la adsorción se ve desfavorecida, pero en el caso de soluciones muy concentradas o donde el disolvente interfiere en la migración de las moléculas de adsorbato hacia la superficie adsorbente, ya sea por su viscosidad u otros factores, la temperatura favorece la adsorción.

2.4.2. EFECTO DEL PH EN LA ADSORCIÓN

La influencia del pH en disolución es lo que permite ionizar moléculas orgánicas ácidas o básicas. El parámetro característico que nos dice el grado de ionización de una especie con grupos ácidos o básicos es el pK_a o pK_b , es decir, moléculas con grupos funcionales ácidos o básicos. En el caso de moléculas orgánicas ácidas, se disociarán a $pH > pK_a$, logrando así controlar las interacciones electrostáticas entre las moléculas de adsorbato y el material adsorbente, es decir, favoreciendo en ciertos casos y desfavoreciendo en otros el fenómeno de adsorción. Es por eso que el pH de la solución determina la adsorción de moléculas orgánicas debido a que generan o no interacciones electrostáticas entre el material adsorbente y las moléculas de adsorbato disociadas.

Una solución con un pH igual al punto de carga cero (pH_{PCC}) o punto isoeléctrico (pH_{PIE}), se usa para determinar cuál es el pH donde el adsorbente tiene carga neta igual a cero. En cambio, si el pH es menor a su punto isoeléctrico, la superficie tendrá carga positiva, mientras que, a un pH mayor, la superficie tendrá carga negativa.

Varios estudios sugieren que el efecto del pH sobre el proceso de adsorción se puede determinar solamente conociendo la estructura y las propiedades del adsorbato. Al aumentar el pH o disminuirlo, puede generar disminución o aumento en la adsorción indistintamente de que si el pH es alto o bajo.

Por otro lado, el pH produce cambios en la carga neta superficial de los materiales usados como adsorbentes (ver figura 2.10) y en la disociación de grupos hidronio o hidroxilo de los adsorbatos, proporcionando cambios en las cargas moleculares y generando interacciones electrostáticas entre el adsorbato y el adsorbente. El pH en solución promueve la formación de iones hidronio e hidroxilo, y estos iones favorecen fuertemente el fenómeno de adsorción, ya

que, al aumentar el grado de disociación de las moléculas de adsorbato, aumenta la capacidad de adsorción de las mismas. No obstante, este cambio de pH puede desfavorecer la adsorción si aumentan las fuerzas de repulsión entre el material adsorbente y las moléculas de adsorbato por tener similar carga iónica u otros factores que favorezcan la repulsión, debido al pH.

Además, el pH de la solución puede controlar el proceso de adsorción para electrolitos orgánicos débiles y polielectrolitos, ya que, puede controlar las interacciones electrostáticas entre el material adsorbente y las moléculas de adsorbato. Si aumenta la densidad electrónica entre el material adsorbente y las moléculas de adsorbato, esto aumenta el proceso de adsorción, cuando ocurren interacciones débiles no electrostáticas, como son las interacciones de dispersión o hidrofóbicas. La fracción de adsorbato unida al material adsorbente depende del tamaño molecular del adsorbato y de la porosidad del material adsorbente y no tiene influencia directa con el pH, siempre que la molécula de adsorbato no contenga grupos funcionales ácidos-bases.

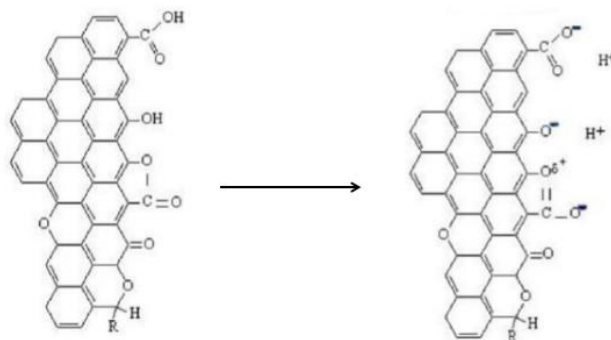


Figura 2.10. Representación esquemática del carácter ácido-base de algunos grupos oxigenados del carbón activado (adsorbente), y cómo estos producen iones hidronio al medio. Fuente: Fuente: Román, G. (2021)

2.4.3. EFECTO DE LA FUERZA IÓNICA EN LA ADSORCIÓN

La fuerza iónica producida por los electrolitos en la disolución, puede modificar la solubilidad de las moléculas disueltas. Al aumentar la concentración de los electrolitos en disolución, aumenta la fuerza iónica de la misma modificando las interacciones electrostáticas y por lo tanto influye directamente en la solubilidad del soluto. Las interacciones presentes entre las especies disueltas pueden actuar como fuerzas adhesivas o repulsivas dependiendo de la naturaleza de la sustancia disuelta y de las concentraciones de los electrolitos disueltos en la disolución.

En el caso de que la fuerza de interacción electrostática sea repulsiva, si aumenta la concentración de electrolitos, es decir, aumenta la fuerza iónica, ésta aumentará el fenómeno de adsorción entre el adsorbato y el adsorbente, debido a que aumenta la repulsión entre las especies disueltas permitiendo que la molécula se encuentre en el medio de manera más libre para interactuar con la superficie sólida, y así aumenta el fenómeno de la adsorción. Pero si en lugar de ser fuerzas de interacción electrostáticas repulsivas, son adhesivas, estas fuertes interacciones disminuyen la concentración del adsorbato en la superficie sólida, al disminuir la concentración de electrolitos en disolución, es decir, disminuye la fuerza iónica, aumenta la interacción entre los electrolitos y la molécula, disminuyendo la concentración del adsorbato en la superficie y desfavoreciendo así el proceso de adsorción.

La concentración salina puede alterar el sistema de adsorción de muchas maneras diferentes, como, por ejemplo, cuando las moléculas del disolvente rodean a los electrolitos disueltos en la disolución, fenómeno conocido como solvatación, y así aumenta la concentración de adsorbato libre en la disolución, permitiendo que la probabilidad de interacción aumente entre el adsorbato y la superficie sólida adsorbente. Otro modo de alterar el fenómeno de adsorción con el aumento de la concentración salina es el proceso conocido como apantallamiento, donde las distintas moléculas agregadas pueden generar un impedimento para que la molécula de adsorbato logre interactuar con la superficie adsorbente.

2.4.4. GENERALIDADES DEL ÁCIDO ACÉTICO

El ácido acético es un ácido de origen natural presente en la mayoría de las frutas. Es producido a través de una fermentación bacteriana, y por consiguiente, está presente en todos los productos fermentados. Comercialmente es elaborado por medio de la fermentación bacteriana del azúcar, las melazas o el alcohol, por síntesis química del acetaldehído o por oxidación del etileno utilizando un metal como catalizador, paladio (Pd).

El ácido acético es un ácido que forma parte del vinagre, y es el principal responsable de su sabor y olor agrio. Su fórmula es $\text{CH}_3\text{-COOH}$, y, de acuerdo con la IUPAC se denomina sistemáticamente ácido etanoico.

Es el segundo de los ácidos carboxílicos, después del ácido fórmico o metanoico, que sólo tiene un carbono, y antes del ácido propanoico, que ya tiene una cadena de tres carbonos.

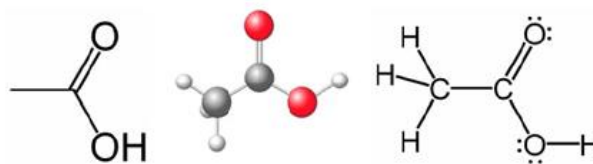
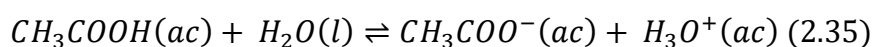


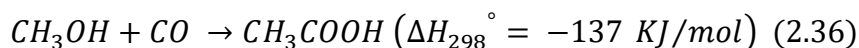
Figura 2.11. Estructuras químicas del ácido acético.
Fuente: Imagen modificada de Morales, N. (2007)

El punto de fusión es 16,6 °C y el punto de ebullición es 117,9 °C. En disolución acuosa, el ácido acético puede perder el protón del grupo carboxilo para dar su base conjugada, el acetato, tal como se muestra en la siguiente ecuación química (2.35).



Su pKa es de 4,76 a 25 °C, lo cual significa, que a un pH moderadamente ácido, de 4,76, aproximadamente, la mitad de sus moléculas se habrán desprendido del protón. Esto hace que sea un ácido débil y que, en concentraciones adecuadas, pueda formar disoluciones tampón con su base conjugada. La constante termodinámica de disociación K_a a 20 °C es $1,75 \cdot 10^{-5}$. Es de interés para la química orgánica como reactivo, para la química inorgánica como ligando, y para la bioquímica como metabolito (activado como acetil coenzima A). También es utilizado como sustrato, en su forma activada, en reacciones catalizadas por las enzimas conocidas como acetil transferasa.

Hoy en día, la vía natural de obtención de ácido acético es a través de la carbonilación de metanol (ecuación química 2.36).

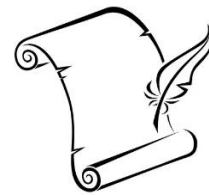


El ácido acético es utilizado como un conservante para prevenir el crecimiento de las bacterias y los hongos. Asimismo, es agregado en la mayonesa para incrementar el efecto de inactivación contra la Salmonella. Muestra su mayor actividad a niveles bajos de pH. Adicionalmente, puede ser utilizado como sustancia amortiguadora o 'buffer' en los alimentos ácidos, o como un componente aromático en algunos productos. En apicultura es utilizado para el control de las larvas y huevos de las polillas de la cera, enfermedad denominada Gallegoriosis, que destruyen los panales de cera que las abejas melíferas obran para criar o acumular la miel. Sus aplicaciones en la industria química están muy ligadas a sus sales aniónicas, como el acetato de vinilo o el acetato de celulosa (base para la fabricación de

rayón, celofán, nylon y otros filmes sintéticos). En la industria textil, como ya se mencionó, el ácido acético se usa como componente primario para la fabricación del nylon, una fibra muy resistente y flexible, también se usa como fijador de color en telas, es decir, para teñirlas. Lógicamente, dentro de la industria textil el hecho de darle el color deseado a una tela es fundamental. Esto se consigue aplicando el tinte junto con ácido acético, el cual hace la función de mantener el pH siempre estable, concepto muy necesario a la hora de tintar las telas. Cabe mencionar que también sirve para el revelado de fotografía, entre las numerosas aplicaciones en las distintas industrias.

El uso cotidiano del ácido acético se presenta en el producto alimenticio denominado vinagre, donde se encuentra en concentraciones aptas para su consumo. Sin embargo, en concentraciones altas, se trata de un ácido irritante capaz de causar quemaduras en la piel, daño permanente en los ojos, e irritación en las mucosas. No es un compuesto particularmente inflamable, pero en soluciones a más del 25 %, sus gases pueden ser igual de corrosivos y peligrosos para la vida humana y animal, por lo que se debe manipular en una campana de extracción de humos (ver hoja de seguridad en anexo 1).

2.4.5. GENERALIDADES DEL CARBÓN ACTIVADO



2.4.5.1. BREVE HISTORIA DEL CARBÓN ACTIVADO

El uso de los materiales conformados por carbón se pierde en la historia, de forma que es prácticamente imposible determinar con exactitud cuando el hombre comenzó a utilizarlos. Lo cierto es que antes del uso de lo que en la actualidad denominamos carbones activados, es decir carbones con una estructura porosa altamente desarrollada, ya se empleaban como adsorbentes el carbón vegetal o simplemente maderas parcialmente quemadas.

Los primeros usos de estos primitivos carbones activados, generalmente preparados a partir de madera carbonizada (carbón vegetal), parecen haber tenido aplicaciones médicas, así, en Tebas (Grecia) se halló un papiro que data del año 1550 a.C. en el que se describe el uso de carbón vegetal como adsorbente para determinadas prácticas médicas. Con posterioridad, en el año 400 a.C., Hipócrates recomienda filtrar el agua con carbón vegetal para eliminar malos olores y sabores y para prevenir enfermedades. En relación al tratamiento del agua con carbón activado, se sabe que en el año 450 a.C., los barcos fenicios almacenaban el agua para beber en barriles con la madera parcialmente carbonizada por su cara interna. Esta práctica se continuó hasta el siglo XVIII como medio para prolongar el suministro de agua en los viajes

transoceánicos. No obstante, la primera aplicación documentada del uso de carbón activado aplicado al tratamiento de corrientes gaseosas no tiene lugar hasta el año 1793, cuando el Dr. D. M. Kehl utiliza el carbón vegetal para mitigar los olores emanados por la gangrena. El mismo doctor también recomienda filtrar el agua con carbón vegetal.

La primera aplicación industrial del carbón activado tuvo lugar en 1794, en Inglaterra, utilizándose como agente decolorante en la industria del azúcar. Esta aplicación permaneció en secreto durante 18 años hasta que en 1812 apareció la primera patente. En 1854 tiene lugar la primera aplicación a gran escala del carbón activado en fase gas, cuando el alcalde de Londres ordena instalar filtros de carbón vegetal en los sistemas de ventilación de las cloacas. En 1872 aparecen las primeras máscaras con filtros de carbón activado utilizadas en la industria química para evitar la inhalación de vapores de mercurio.

Sin embargo, el término adsorción fue utilizado recién en 1881 por Kayser para describir cómo algunos de los materiales carbonizados atrapaban los gases. Aproximadamente por esos años R. Von Ostrejko, considerado el inventor del carbón activado, desarrolla varios métodos para producir carbón activado tal y como se conoce en nuestros días, más allá de simples carbonizados de materiales orgánicos o del carbón vegetal. Así, en 1901 patentó dos métodos diferentes para producir carbón activado. El primero consistía en la carbonización de materiales lignocelulósicos junto con cloruros de metales; lo cual resultó la base de lo que hoy en día es la activación química. En el segundo, proponía una gasificación suave de materiales previamente carbonizados con vapor de agua o CO_2 , es decir, una activación física, o más correctamente térmica.

El uso de agentes químicos durante la Primera Guerra Mundial, trajo como consecuencia la necesidad urgente de desarrollar filtros de carbón activado para máscaras de gas. Sin duda este acontecimiento fue el punto de partida para el desarrollo de la industria del carbón activado y de un buen número de carbones activados usados, no sólo en la adsorción de gases tóxicos sino también, en la potabilización de agua. A partir de ese momento, tuvo lugar el desarrollo de numerosos carbones activados para aplicaciones diversas: depuración de gases y aguas, aplicaciones médicas, soporte de catalizadores, etc.

2.4.5.2. ¿QUÉ ES EL CARBÓN ACTIVADO?

El carbón activado, al igual que otros tipos de carbón, pertenece a un grupo de materiales carbonosos en los cuales la estructura y propiedades son más o menos similares a la estructura y propiedades del grafito (figura 2.12).

El carbón activado es un producto que posee una estructura cristalina reticular similar a la del grafito, sólo que el orden en la estructura del carbón activado es menos perfecta y es extremadamente poroso.

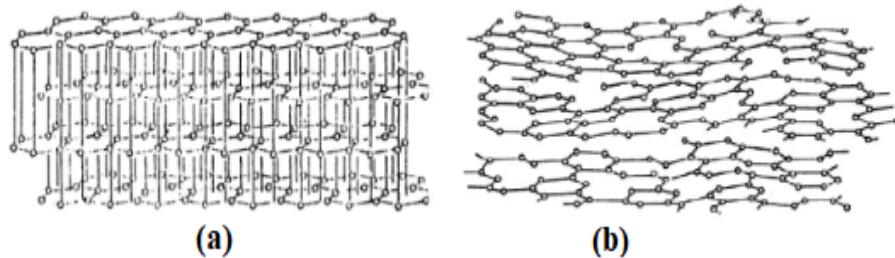


Figura 2.12. Esquema representativo del (a) arreglo estructural de las capas planas del grafito, (b) la estructura propuesta de las capas del carbón activado.

Fuente: Román, G. (2021)

De acuerdo con la terminología de la IUPAC los poros se clasifican según el diámetro de los mismos en:

- Micro poros: menores a 2 nm, que son donde ocurre el fenómeno de adsorción en mayor medida.
- Meso poros: entre 2 y 50 nm.
- Macro poros: entre 50 y 100000 nm.
- Arriba de 100000 nm ya se consideran como grietas y empiezan a ser detectables por el ojo humano.

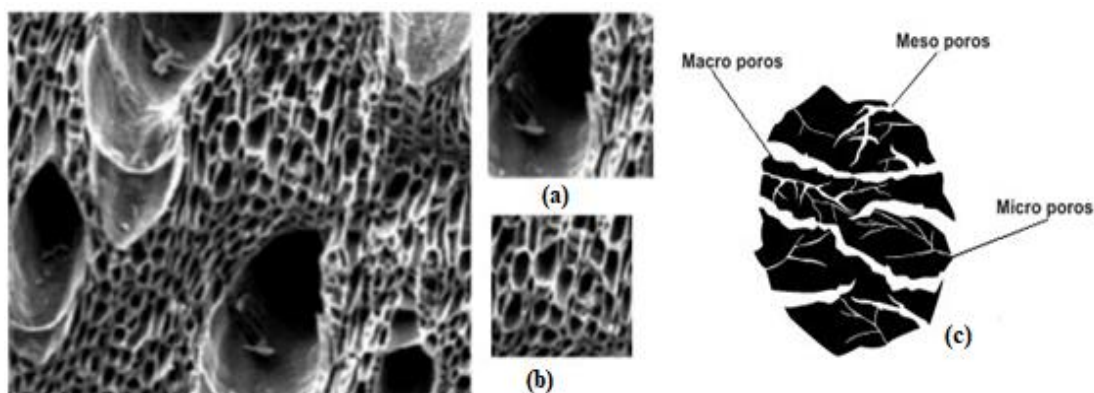


Figura 2.13. Micrografía de un material poroso. (a) Macro poros, (b) Meso poros, (c) Esquema de un material poroso. Fuente: Román, G. (2021)

El área de superficie del carbón activado varía dependiendo de la materia prima y del proceso de activación, pudiendo llegar a desarrollar áreas superficiales del orden de 500 a 1500 metros cuadrados, o más, por gramo de carbón. Son las altas temperaturas, la atmósfera especial y la inyección de vapor del proceso de fabricación del carbón activado lo que “activa” y crea la porosidad, dejándolo como una “esponja” de esqueleto de carbón (figura 2.13).

2.4.5.3. ¿CÓMO SE ACTIVA EL CARBÓN?

El carbón activado puede fabricarse a partir de todo tipo de material carbonoso o bien a partir de cualquier carbón mineral no grafitico; sin embargo, cada materia prima brindará características y calidades distintas al producto.

En cuanto al proceso de activación, existen dos tipos de activación: la física (llamada también activación térmica) y la química (llamada también deshidratación química).

2.4.5.3.1. ACTIVACIÓN FÍSICA

El proceso de activación física consiste en carbonizar la materia prima llegando al rojo vivo para expulsar los hidrocarburos, pero sin el suficiente aire para llegar a la combustión, obteniéndose así un carbón primario. Luego se expone éste a un agente oxidante, generalmente vapor de agua. La reacción es endotérmica, por lo que es necesario trabajar a una temperatura constante 800 –1000 °C. El control cuidadoso del proceso permite que el tamaño del poro se altere para ajustarse a una amplia gama de aplicaciones específicas.

El proceso físico también se conoce como activación térmica, a pesar de que la activación se produce debido a una reacción (química) del agente activante (un oxidante como el aire, vapor de agua, CO₂, etc.). El grado de activación y el rendimiento dependen de las condiciones de operación del horno de activación, las cuales son: temperatura, composición de los gases, flujo volumétrico de éstos, y tiempo de residencia del carbón en el equipo. El rendimiento suele estar entre 0,25 y 0,50 kg de carbón activado por kilogramo de carbón. Por grado de activación se entiende el área superficial (m²/g), generada en el carbón activado.

2.4.5.3.2. ACTIVACIÓN QUÍMICA

La activación química se basa en la deshidratación mediante sustancias químicas y a una temperatura media (400 – 600 °C). Ésta depende de la sustancia química a utilizar para activar el carbón.

En este tipo de activación el precursor se hace reaccionar con un agente químico activante. En este caso, la activación suele tener lugar en una única etapa a temperaturas que pueden variar entre 450 y 900 °C. No obstante, es necesaria una etapa posterior de lavado del carbón activado para eliminar los restos del agente activante.

Existen numerosos compuestos que pueden usarse como agentes activantes, sin embargo los más usados industrialmente son el cloruro de zinc ($ZnCl_2$), el ácido fosfórico (H_3PO_4) y el hidróxido de potasio (KOH).

La activación química con $ZnCl_2$ fue el método más usado hasta 1970, especialmente para la activación de residuos de madera. Su uso, sin embargo, se ha restringido mucho en la actualidad debido a los problemas medioambientales que conlleva el uso del $ZnCl_2$. No obstante, algunos países como China aún siguen usando este método para producir carbón activado.

La activación química con H_3PO_4 prácticamente ha desplazado al $ZnCl_2$ y los precursores en este tipo de activación son en su mayoría como para la activación con $ZnCl_2$: residuos forestales, madera, cáscara de coco, hueso de aceituna, etc.

La activación con H_3PO_4 implica las siguientes etapas:

- ✓ Molienda y clasificación del material de partida,
- ✓ Mezcla del precursor con H_3PO_4 (reciclado y fresco).
- ✓ Tratamiento térmico en atmósfera inerte entre 100 y 200 °C, manteniendo la temperatura aproximadamente 1 h, seguido de un nuevo tratamiento térmico hasta 400-500 °C, manteniendo esta temperatura en torno a 1 h.
- ✓ Lavado, secado y clasificación del carbón activado, y reciclado de H_3PO_4 . La proporción H_3PO_4 :precursor más empleada suele ser 1:5 (aunque proporciones diferentes dan lugar a carbones con distintas propiedades), el rendimiento del método es del 50%.

La activación química con KOH se desarrolló durante los años 70 para producir los denominados “carbones superactivados”, con superficies específicas del orden de los 3000 m^2/g . A diferencia de los otros dos agentes activantes, los precursores preferibles para la activación con KOH son aquellos de bajo contenido en volátiles y alto contenido en carbono, como los carbones minerales de alto rango, carbonizados, coque de petróleo, etc. En esta

activación el KOH se mezcla con el precursor, en una suspensión acuosa o mediante una simple mezcla física, en proporciones entre 2:1 y 4:1. Cuando la impregnación tiene lugar en medio acuoso, la activación se lleva a cabo en dos tratamientos térmicos consecutivos en atmósfera inerte. El primero a temperaturas bajas, pero superiores a los 200 °C (que se utiliza sólo para evaporar el agua y dispersar el KOH) y el segundo entre 700 y 900 °C.

2.4.5.4. PRINCIPALES MATERIAS PRIMAS Y SUS CARACTERÍSTICAS

Para la elaboración de carbón activado se parte de materiales tales como las cortezas de almendros, nogales o palmeras, otras maderas y carbón mineral.

El carbón amorfo susceptible de activación puede ser vegetal o mineral. Dentro de los carbones minerales se encuentran: antracitas, hulla bituminosa, lignito y turba. Y de los carbones vegetales: madera (pino, acacia), residuos de madera, cáscara de coco, bagazo y huesos de frutas.

Aunque el carbón activado puede fabricarse a partir de un sinnúmero de materiales carbonosos, solamente se utilizan unos cuantos a nivel comercial debido a su disponibilidad, bajo costo, y a que los productos obtenidos a partir de ellos tienen las propiedades que cubren toda la gama de aplicaciones que el carbón activo puede tener.

Además de las materias primas antes mencionadas, también han sido utilizadas otras, como son: bagazo de caña, semillas (frijol, arroz, etc.), desechos de maíz, residuos del petróleo, algas marinas, huesos de frutos, cáscara de arroz, turba, etc.

En la siguiente tabla (2.1) se muestran las principales materias primas y tecnologías de activación utilizados en la producción, así como la dureza y el tamaño de poro de los productos obtenidos.

Tabla 2.1. Principales materias primas y tecnologías con la que se fabrican carbones activado y valores típicos de las principales propiedades obtenidas.

Materia prima	Activación	Dureza o resistencia a la abrasión	Tamaño de poros
Madera de pino	Deshidratación química(*)	30-50	Macro poro
Madera de pino	Térmica (**)	40-60	Meso poro
Carbón mineral bituminoso	Térmica (**)	70-80	Meso poro
Concha de coco	Térmica (**)	90-99	Micro poro

Nota: (*) Típicamente con ácido fosfórico y en ocasiones con cloruro de zinc. (**) En atmósfera saturada de vapor de agua o con gases de combustión. Fuente: Smisek, M., & Cemy, S. (1970). Active carbón. Manufacture, properties and applications.

Existen varios métodos para evaluar la dureza, aunque desafortunadamente ninguno de ellos simula las condiciones reales que provocan la erosión y el rompimiento del carbón en las diferentes etapas de su uso, como el transporte y el retrolavados.

La mayoría de los métodos reportan resultados de dureza cuyo valor está entre 0 y 100. El de la ASTM D-3802 consiste en agitar la muestra de carbón junto con balines de acero. Después de 30 min se mide el porcentaje en peso de carbón que queda sobre una malla cuya abertura es lo más cercana posible a la mitad de la abertura de la malla que define el mínimo tamaño de partícula nominal de la muestra original, el resultado se reporta como valor de dureza.

En cuanto al radio medio de poro y al radio de poro predominante, puede observarse que el carbón activado de madera tiende a la macro porosidad, los minerales a la meso porosidad y el de concha de coco a la micro porosidad.

2.4.5.5. TIPOS DE CARBÓN ACTIVADO

El carbón activado puede tener forma de gránulos irregulares, polvo, pellets o fibras (figura 2.14). Los tres primeros son los más comunes. Aunque los pellets normalmente son cilindros, también se producen con otras formas. En todos los casos, aun cuando la forma física difiera, el producto básico es el mismo y, por lo tanto, trabaja con el mismo principio.

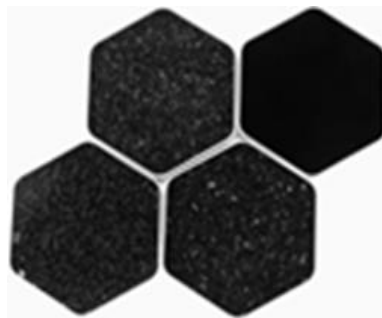


Figura 2.14. *Tipos de carbón activado*

Fuente: Imagen extraída de <https://www.huameicarbon.com/es/productos/>

2.4.5.5.1. CARBÓN ACTIVADO GRANULAR

El carbón activado granular consiste en gránulos de forma irregular que se instalan dentro de un recipiente por el que se hace circular el líquido o gas que va a tratarse. El carbón activado se fabrica en diversos rangos de tamaño. Por ejemplo, un 8x30 es un carbón cuyas partículas pasan por la malla de 8 pero no por la de 30.

La especificación de malla que se utiliza con mayor frecuencia es la estándar americana (U.S.Std. Sieve). El número de malla equivale al número de aberturas por pulgada lineal. Un carbón 8x30 tiene partículas de entre 0,595 y 2,38 mm como podemos ver en tabla (2.2). En la tabla (2.3) se mencionan algunos de los rangos de tamaño más comunes en distintas aplicaciones.

Tabla 2.2. Especificaciones de mallas estándar americanas (U.S. Std. Sieve)

Malla U.S	Abertura (mm)	Malla U.S	Abertura (mm)
1/4	6,35	30	0,595
4	4,76	35	0,500
5	4,00	40	0,420
6	3,36	45	0,354
8	2,38	50	0,297
10	2,00	60	0,250
12	1,68	70	0,210
14	1,41	80	0,177
16	1,190	100	0,149
18	1,000	200	0,074
20	0,841	325	0,044
25	0,707	400	0,037

Fuente: Grosó, G. (1997). El carbón activado granular en el tratamiento del agua.

Tabla 2.3. Rangos típicos de tamaño de carbón activado granular para distintas aplicaciones.

Aplicación	Granulometrías
Tratamiento de agua y de líquidos en general a nivel industrial y municipal	8x30, 12x40, 14x30, 14x40
Purificadores de agua caseros	12x40, 14x40, 20x50
Acondicionamiento de aire, purificación de gases (como CO ₂ , He, acetileno), recuperación de vapores de solventes, campanas para cocinas.	4x6, 4x8, 4x10
Mascarillas de gases	12x20
Recuperación de oro	6x12, 6x16, 8x16, 10x20
Boquillas de cigarrillos	8x14, 12x20, 20x50

Fuente: Grosó, G. (1997). El carbón activado granular en el tratamiento del agua.

2.4.5.5.2. CARBÓN ACTIVADO EN POLVO

El carbón activado en polvo se define como aquel carbón cuyas partículas pasan a través de la malla 80 (abertura 0,177 mm). Debido a su tamaño, no puede emplearse en lechos fijos y por lo tanto no se utiliza en el tratamiento de gases. Se adiciona al líquido en un tanque agitado: después de un tiempo que suele ser de entre 10 y 30 minutos, se deja sedimentar o se separa por medio de un filtro, que normalmente es tipo prensa. La sedimentación puede requerir de floculantes y filtración (tierras diatomáceas). Aunque el proceso puede ser continuo, normalmente se realiza por lotes, ya que en el primer caso requiere controles muy precisos.

La ventaja del carbón activado en polvo es que adsorbe más rápido que el carbón activado granular y la desventaja es que genera una mayor caída de presión en el fluido.

2.4.5.5.3. CARBÓN ACTIVADO PELLETIZADO

El carbon activado puede pulverizarse y posteriormente pelletizarse bajo presión o con la ayuda de agentes ligantes, como brea, alquitranes y glucosa, entre otros. Los pellets suelen ser cilíndricos debido a que normalmente se producen por extrusión. Su principal ventaja consiste en que causan una menor caída de presión que los carbones granulares, cosa que los hace muy útiles en la purificación de aire y otros gases en los que existe una baja presión disponible. La desventaja de los carbones pelletizados es que tienen mayor costo de fabricación, que resulta en precios más altos con respecto a los granulados.

2.4.5.6. QUÍMICA SUPERFICIAL DE LOS CARBONES ACTIVADOS

La superficie de los carbones puede encontrarse combinada en mayor o menor proporción con otros átomos distintos al carbono (heteroátomos), dando lugar a diferentes grupos superficiales.

En la siguiente figura (2.15) se muestra una representación esquemática de los principales grupos funcionales presentes en una superficie de carbón activado. Se puede observar que un heteroátomo muy presente es el oxígeno, esto es debido a la tendencia del carbono a oxidarse a temperatura ambiente. Además, cuenta con electrones deslocalizados en los orbitales π que le permite a los carbonos generar otros tipos de interacciones. Además, cuenta con numerosos grupos funcionales en parte de la superficie del carbón activado, lo que le dará la característica química específica en su superficie. Los heteroátomos presentes en su estructura pueden ser, oxígeno, nitrógeno, fósforo, hidrógeno, cloro y azufre y entre los diferentes

grupos funcionales que se encuentran en la superficie están, los ácidos carboxílicos, lactonas, fenoles, carbonilos, aldehídos, éteres, pironas o cromenos. Estos grupos funcionales se encuentran, en general, en mayor concentración en los bordes de la estructura del carbón activado.

Si la estructura general del carbón activado presenta en mayor o menor medida estos grupos superficiales, como también un grado de deslocalización de los electrones π , este juego entre su química superficial y su estructura intrincada permitirán las interacciones específicas con un posible adsorbato, dándole su capacidad de adsorción final.

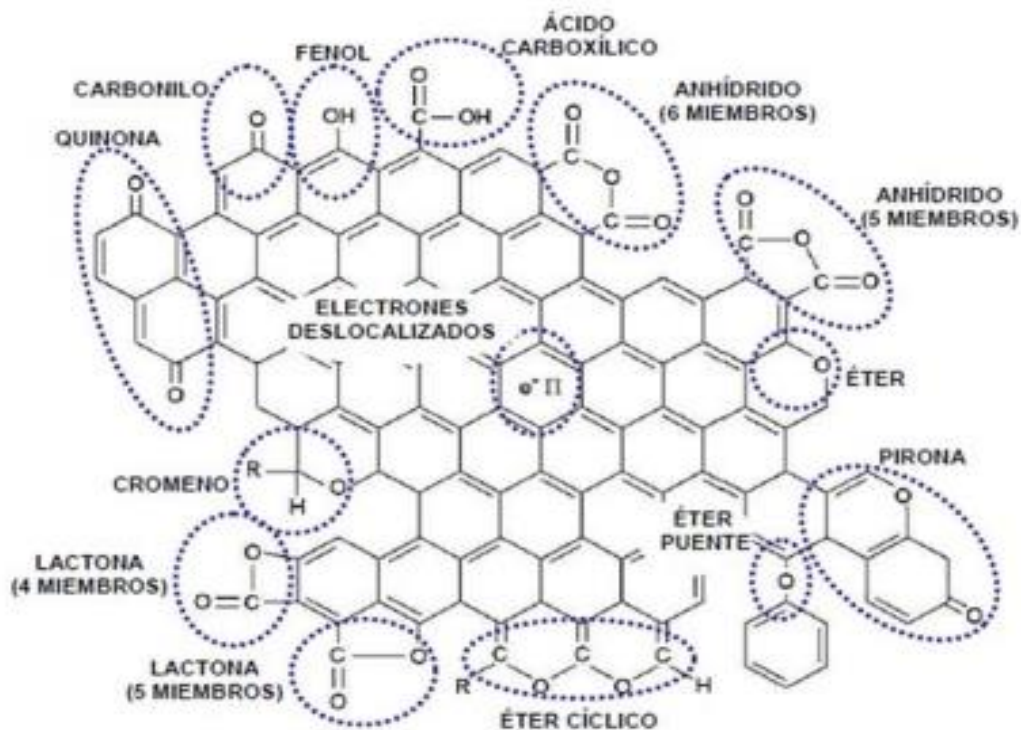


Figura 2.15. Grupos funcionales en un carbón activado
Fuente: Román, G. (2021)

En la figura 2.16 se representan las interacciones puente de hidrógeno entre los grupos funcionales de la superficie dentro de los poros, y las moléculas de agua. En principio, una superficie de carbón activado sin estos grupos funcionales no podría formar enlaces puente hidrógeno, ya que su superficie es apolar, pero al oxidarse la superficie, se agregan estos grupos polares, permitiendo estas interacciones. También se muestra un caso particular de

adsorción, ya que estas moléculas de agua en casos de presencia de algunas moléculas de adsorbato, podrían favorecer la capacidad de adsorción; y en otros casos, podrían dificultarla, por ejemplo, por bloqueo, este puede ser el caso de muchos gases.

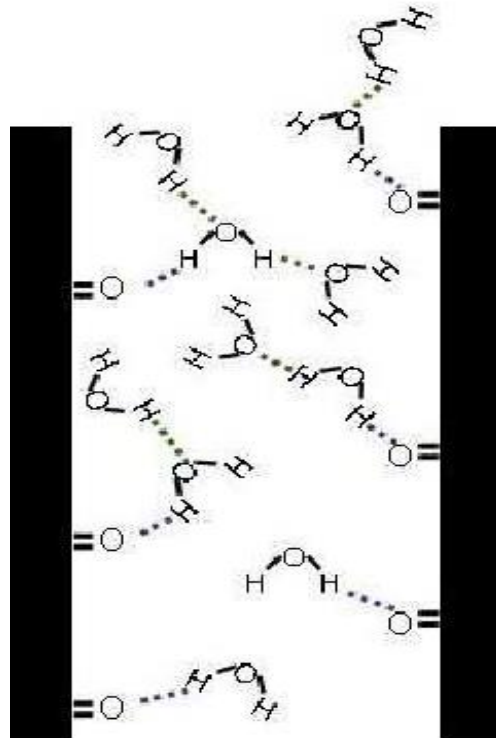


Figura 2.16. Esquema de la superficie de carbón activado con sus grupos funcionales formando puentes hidrógeno con las moléculas de agua.

Fuente: Román, G. (2021)

En los casos que el carbón activado presenta estos grupos funcionales, posee una naturaleza anfótera, es decir, con carácter ácido y básico. Podemos hablar de la naturaleza ácida o básica global de la superficie de carbón activado, es decir, si los grupos ácidos, son mayoritarios en proporción a los grupos básicos o viceversa. De esta forma, la superficie de carbón activado se carga positiva o negativamente.

Un parámetro importante para medir el carácter ácido-base de la superficie del carbón activado es su punto de carga cero “ pH_{PCC} ” que, como se comentó anteriormente, es el valor del pH donde el número de cargas positivas es igual al de cargas negativas, es decir, la carga neta de la superficie del carbón activado es igual a cero. Estas cargas dependen fuertemente del pH del medio, por ejemplo, cuando el pH es mayor que el punto de carga cero del carbón activado, $pH_{PCC} < pH$, la superficie de carbón activado tendrá una carga neta negativa; por el

contrario, si $\text{pH} < \text{pH}_{\text{PCC}}$ la superficie de carbón activado estará cargada positivamente. En la figura 2.17 se observan superficies de carbón activado con carácter ácido debido a los grupos oxigenados (carboxilos, hidroxilos y cetonas), y con carácter básico por los electrones deslocalizados del plano y por los grupos oxigenados (pirona, quinona y cromeno).

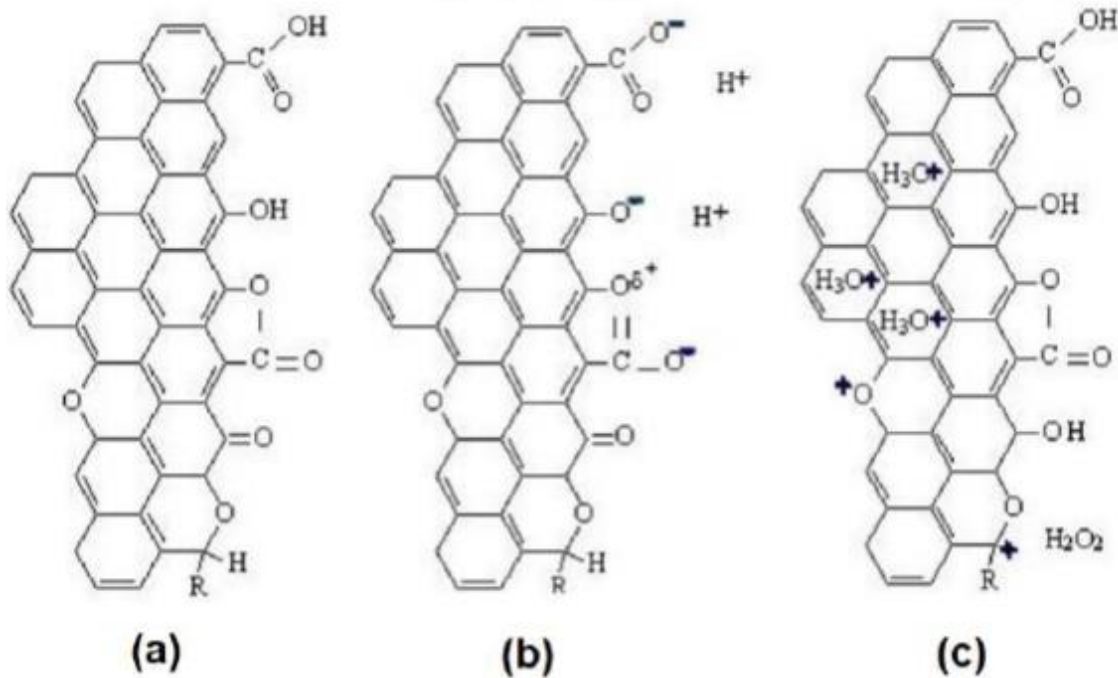


Figura 2.17. Representación de tres superficies de carbón activados: a) neutra, b) carácter básico, c) carácter ácido.

Fuente: Román, G. (2021)

Por lo tanto un carbón activado con sitios ácidos adsorberá compuestos básicos y un carbón activado con sitios básico adsorberá compuestos ácidos dependiendo del pH con el que se trabaje.

En el caso de buscar optimizar una superficie porosa de carbón activado, en determinados casos, las características químicas de la superficie del carbón activo no siempre son beneficiosas. Por ejemplo, si aplicamos un tratamiento térmico a elevadas temperaturas para eliminar grupos de la superficie, esto puede causar un colapso de los poros, disminuyendo la cantidad de los mismos. Otro ejemplo puede darse cuando al tratar de aumentar en grado de oxidación de una superficie de carbón activado, su textura puede verse modificada por un bloqueo de los micro poros.

En conclusión, podemos decir que la capacidad de adsorción total de un dado carbón activado se debe tanto a las características estructurales, como a su textura y a sus propiedades químicas superficiales. Es decir, estas características son fundamentales para una buena capacidad de adsorción. Esto se debe en principio que no todas las sustancias pueden ser adsorbidas por una superficie compuesta solo de carbonos, y otras se verían perjudicadas en términos de adsorción si el carbón activado presenta numerosos grupos funcionales en su estructura, por ello, este equilibrio preciso entre la textura y la química superficial es el factor determinante para que la capacidad de adsorción sea favorable para el adsorbato estudiado.

En la provincia de Córdoba, se fábrica carbón activado de origen vegetal, con materia prima Argentina, elaborado especialmente reciclando los desperdicios de la industria maderera del país. El proceso de activación que usan es mixto, es decir químico y físico, por lo que logran la formación principalmente de macro y meso poros sometiendo el material previamente carbonizado a una purificación oxidante profunda y una terminación de ciclo térmico en horno a más de 500°C hasta que el carbón alcanza su mayor nivel de activación.

La textura porosa del carbón vegetal una vez activado dispone de una carga eléctrica negativa, lo que hace que atraiga moléculas cargadas positivamente, como toxinas, productos químicos y gases de pH ácido. A continuación se describen algunas de las aplicaciones y usos del carbón activado.

2.4.5.7. USOS Y APLICACIONES DEL CARBÓN ACTIVADO

En la actualidad está ampliamente implantado el empleo de carbón activado en diversos campos de la industria tales como la industria de los azúcares, la industria química, la industria farmacéutica, etc. tabla (2.4). Además, se ha incrementado su uso en el tratamiento de aguas residuales, potables y en procesos industriales, dado a que el carbón activo, es la sustancia adsorbente por excelencia ya que la mayoría de sus propiedades químicas (por ejemplo, grupos de superficie) y físicas (por ejemplo, distribución del tamaño de los poros y área de la superficie) se pueden ajustar de acuerdo con lo que se necesite. Esta elevada capacidad de adsorción de diversas sustancias, junto con la gran facilidad y rapidez de eliminación del medio tratado y la posibilidad de, una vez agotado, ser regenerado para su reutilización, permite un tratamiento eficaz y barato en múltiples aplicaciones, en muchas de las cuales es un producto insustituible.

Tabla 2.4. Aplicaciones del carbón activado

Sector	Aplicaciones
Tratamiento de aguas	<p><u>Potabilización</u>: eliminación de moléculas orgánicas, olores, y bacterias.</p> <p><u>Aguas residuales industriales</u>: eliminación de metales pesados, disolventes halogenados, regulación de las demandas biológicas y químicas del oxígeno del agua.</p> <p>Aguas subterráneas. Eliminación de pesticidas, disolventes, grasas y metales pesados.</p>
Industria alimentaria	<p>Tratamiento de bebidas. Decoloración del jarabe de azúcar, eliminación de alcoholes, fenoles, aldehídos, grasas, cafeína. Eliminación del etileno en frutas almacenadas, malos olores.</p>
Industria química	<p>Eliminación de contaminantes, recuperación de disolventes, soporte de catalizadores, purificación, producción de gases puros.</p>
Sector energético	<p><u>Industria petroquímica</u>: eliminación de contaminantes, recuperación de vapores orgánicos en calderas, clarificación del crudo.</p> <p><u>Centrales térmicas</u>: captura de dióxido de carbono, eliminación de contaminantes (dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, dioxinas, mercurio, cadmio), recuperación de metales, desulfuración del gas natural y biogás.</p> <p><u>Almacenamiento de energía</u>: gas natural, hidrógeno, energía eléctrica (condensadores).</p> <p><u>Central Nuclear</u>: captura de gases radiactivos, separación de xenón y criptón, máscaras de gases.</p>
Farmacéutica	<p>Tratamientos contra envenenamientos e intoxicaciones por bacterias, purificación (antibióticos, vitaminas y otros productos), dosificador de fármacos, apósitos fungicidas y desolizadores.</p>
Acondicionamiento del aire	<p>Eliminación de aceites del aire acondicionado, respiradores industriales, control de malos olores en bodegas, almacenes de alimentos neveras de uso doméstico. Filtro de cigarrillos.</p>
Metalurgia	<p>Recuperación de oro (hidrometalurgia).</p>

Fuente: Plaza. (2016)

2.4.5.8. REGENERACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO

Una vez que el carbón activado ha sido saturado (figura 2.18) con los componentes que debe adsorber en una aplicación industrial puede ser regenerado mediante una serie de procesos, para así recuperar su estado original.

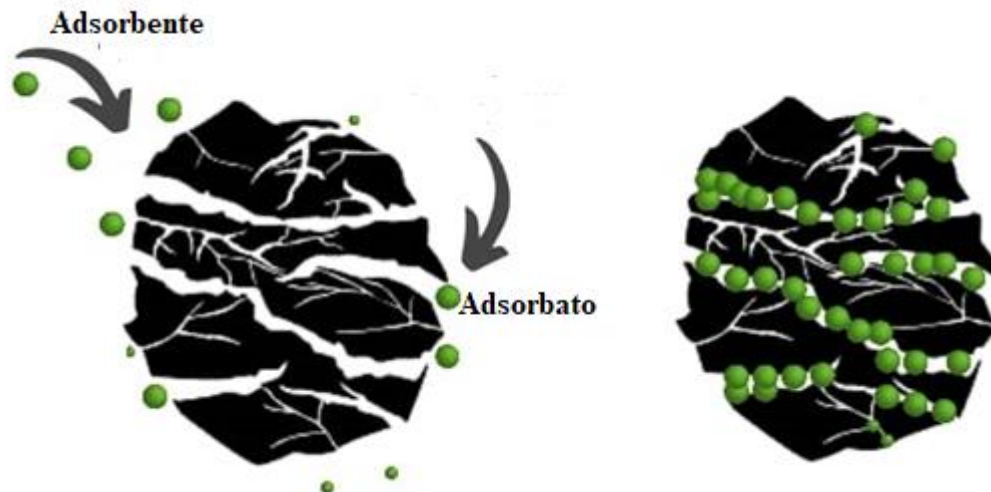


Figura 2.18. *Esquema de saturación del carbón activado*
Fuente: Imagen extraída de <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/>

Las ventajas de la regeneración son principalmente que se reduce el costo para el usuario y que se reduce el problema de la eliminación o almacenamiento del material gastado. La regeneración puede hacerse en la propia instalación del usuario o en los sistemas de regeneración de los fabricantes. El método más simple de regeneración es la desorción de las sustancias adsorbidas por tratamiento térmico o por desgasificación. Lo que se suele hacer es pasar una corriente de vapor de agua sobrecalentado o de gas inerte a alta temperatura a través del lecho de carbón; este procedimiento es la base del proceso de recuperación de disolventes y del sistema PSA (pressure swing adsorption) utilizado en la separación de mezclas de gases. A continuación se describen otros posibles métodos de regeneración para el carbón activado.

2.4.5.8.1. REACTIVACIÓN CON ÁCIDO

Cuando las partículas de un carbón presentan un color entre blanco y gris claro, lo más probable es que se encuentran envenenadas o bloqueadas con carbonato o con hidróxido de calcio. En estos casos, la reactivación térmica no logra eliminar dichos compuestos; en cambio, un lavado de una solución ácida sí lo hace. Se puede utilizar cualquier tipo de ácido fuerte, pero el ácido clorhídrico es el más común. El proceso de disolución de las sales de calcio es lento. El tiempo varía dependiendo de qué tan impregnado se encuentra el carbón, pero puede estar entre 10 y 40 horas. Para lograr mayor rapidez, se calienta la solución a 60 - 70°C y se mantiene el proceso en agitación. Una vez terminada la reactivación, el carbón debe haber recobrado su color negro.

2.4.5.8.2. REACTIVACIÓN MEDIANTE LA MODIFICACIÓN DEL PH EN SOLUCIÓN ACUOSA.

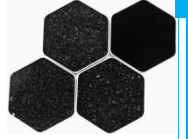
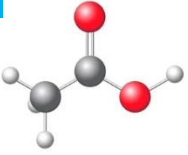
Cuando la capacidad de retención de un adsorbato específico depende del valor del pH, puede aprovecharse esta condición para desorberlo, regenerando así al carbón. Por ejemplo, el fenol se adsorbe en cantidades relativamente altas a valores de pH bajos y ocurre todo lo contrario a valores de pH altos. Así, si el carbón activado granular saturado con este compuesto se lava con una solución al 4% de sosa, es posible disolver un buen porcentaje del mismo. Este método sólo se aplica en procesos muy específicos en los que el carbón ha adsorbido un solo compuesto, como el fenol.

2.4.5.8.3. REACTIVACIÓN BIOLÓGICA

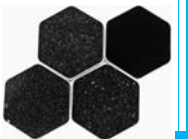
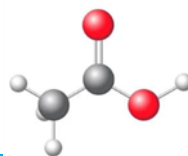
Sucede en el tratamiento de agua, las bacterias que se desarrollan en la superficie del carbón se alimentan de la materia biodegradable adsorbida. Este beneficio también puede lograrse en el carbón activado una vez que este método se ha retirado del proceso de adsorción. Para lograrlo, el carbón se coloca en una columna por la que se recircula una solución aireada y rica en nutrientes en un principio, a modo de cama expandida. Este método ha encontrado aplicación en el ramo de tratamiento de aguas residuales, logrando 80% de regeneración en 96 horas; sin embargo, su uso no es frecuente.

2.4.5.8.4. REACTIVACIÓN TÉRMICA A VACÍO

Como su nombre lo indica, es una modalidad de la reactivación térmica en la que se hace vacío, como el objeto de lograr la desorción de ciertos contaminantes que, a presión atmosférica, sufrirían una pirolisis antes de desorberse. Con esto se busca recuperar el adsorbato y evitar su destrucción. Este proceso se aplica en muy raras ocasiones a escala industrial, debido al costo que significa el vacío. Sin embargo, se utiliza con frecuencia en estudios a escala en el laboratorio.



CAPÍTULO 3
MATERIALES Y
MÉTODOS UTILIZADOS



3. MATERIALES Y MÉTODOS UTILIZADOS

3.1. EQUIPOS Y MATERIALES

A continuación se detallan los equipos y los materiales utilizados en las experiencias de laboratorio.

3.1.1. BALAZA DE ALTA RESOLUCIÓN

Balanza electrónica AND modelo HR-200 (figura 3.1). Las características de la balanza se detallan a continuación:

- Capacidad: 210 g.
- Resolución: 0,0001 g.
- Tamaño de plato: 85 mm de diámetro.
- Dimensiones físicas: 21,3 cm de ancho, 31,9 cm ancho, y 30,1 cm de alto.
- Otras características: Cabina antiviento con dos puertas laterales y una superior, ajustador de nivel, pantalla fluorescente, intercambiador de unidades.

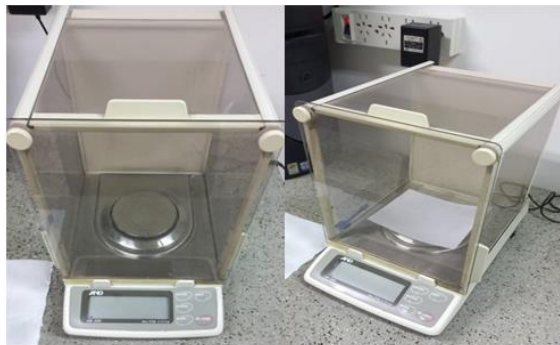


Figura 3.1. Balanza electrónica AND modelo RH-200

Fuente: Imagen propia

3.1.2. BALANZA DE BAJA RESOLUCIÓN

Balanza digital marca Ohaus (figura 3.2), de precisión $\pm 0,1$ g.



Figura 3.2. Balanza digital marca Ohaus.

Fuente: Imagen propia.

3.1.3. EQUIPAMIENTO PARA TERMOSTATIZACIÓN

Termómetro digital marca ErcoHart, con $\pm 0,01$ °C de precisión (figura 3.3.a). Termostato (figura 3.3.b), a continuación se describen algunas de las características:

- Sistema calefactor.
- Lectura de temperatura: Sensor PT 100.
- Control de temperatura electrónico modelo TC-800 M marca Obertec, PID microcontrolador, panel frontal diseñado en policarbonato con controles Soft Touch (figura 3.3.c).
- Estabilidad de la temperatura $\pm 0,2$ °C.



Figura 3.3. a) Termómetro b) Termostato c) Termo controlador modelo TC- 800 M marca Obertec.
Fuente: Imagen propia.

3.1.4. DESTILADOR

Destilador marca Figmay, algunas de las características del equipo se detallan a continuación:

- Medidas equipo completo: ancho 20 cm, alto 70 cm y alto 86 cm.
- Alimentación del equipo 220 V.
- Consumo 3500 W.
- Consumo de agua de red 80 l/h.
- Superficie de evaporación 400 cm²
- Superficie de condensación 1900 cm²

- Rendimiento del equipo 4 l/h
- Peso completo del equipo 7 kg
- Conductividad específica promedio del agua destilada obtenida es $3,43 \mu S/cm$

En la figura 3.4 se puede observar el destilador con su esquema de funcionamiento.

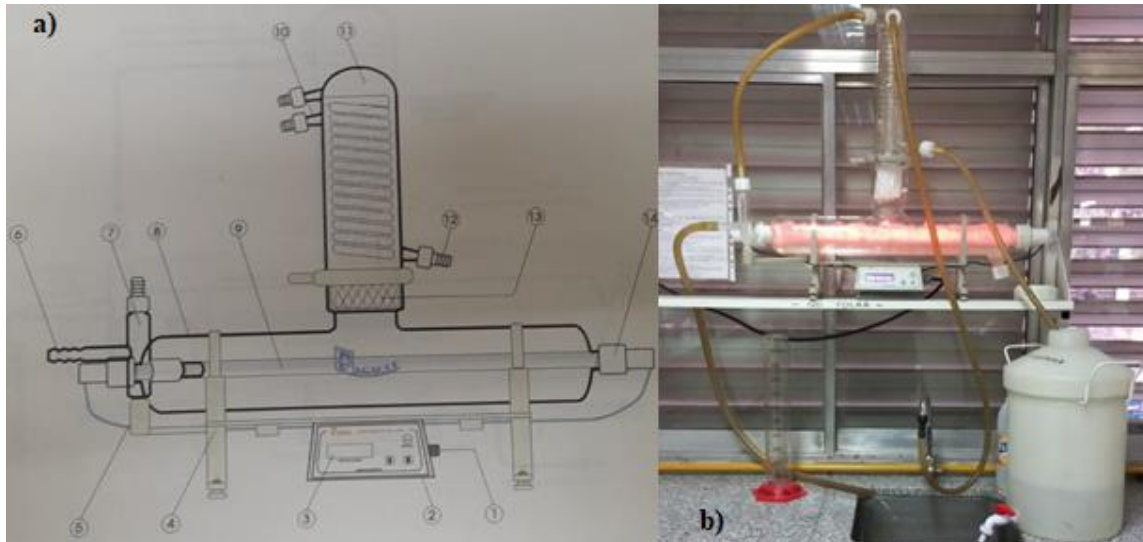


Figura 3.4. a) Esquema del destilador. b) destilador

Nota: 1- Entrada de 220 V. 2- Tablero electrónico del comando. 3- Display inteligente. 4- Chasis de aluminio. 5- Sensor de insuficiencia entrada de agua. 6- Exceso de nivel caldera. 7- Nivel constante. 8- Caldera de vidrio. 9- Vela calefactora de cuarzo. 10- Ingreso del agua de red. 11- Condensador de doble efecto. 12- Salida de agua destilada. 13- Relleno ordenado de teflón. 14- Soporte teflón de vela. Fuente: a) Extraída de Manual de equipo b) Imagen propia.

3.1.5. MATERIALES UTILIZADOS

En la tabla 3.1 y en la figura 3.5 se detallan y muestran los materiales utilizados.

Tabla 3.1. Materiales utilizados en la experiencia de laboratorio.

Materiales	Cantidad	Materiales	Cantidad
Erlenmeyer 250 ml c/tapón	7	Pipeta doble aforo 20 ml	1
Erlenmeyer 250 ml	14	Pipeta doble aforo 50 ml	1
Matraz de 1000 ml c/tapón	4	Pipeta graduada 1 ml	1
Matraz 100 ml c/tapón	7	Bureta 25 ml	1
Probeta de 100 ml	7	Soporte con pinzas para bureta	1
Embudos	7	Soporte universal	2
Vaso de precipitado 250 ml	1	Aro de metal para embudos	4
Portaobjetos	2	Pro pipeta	2
Crisoles	2	Recipiente para residuos	1
Pipeta doble aforo 10 ml	1	Cucharas	3
Varilla de vidrio	1	Papel de filtro	

Fuente: Elaboración propia

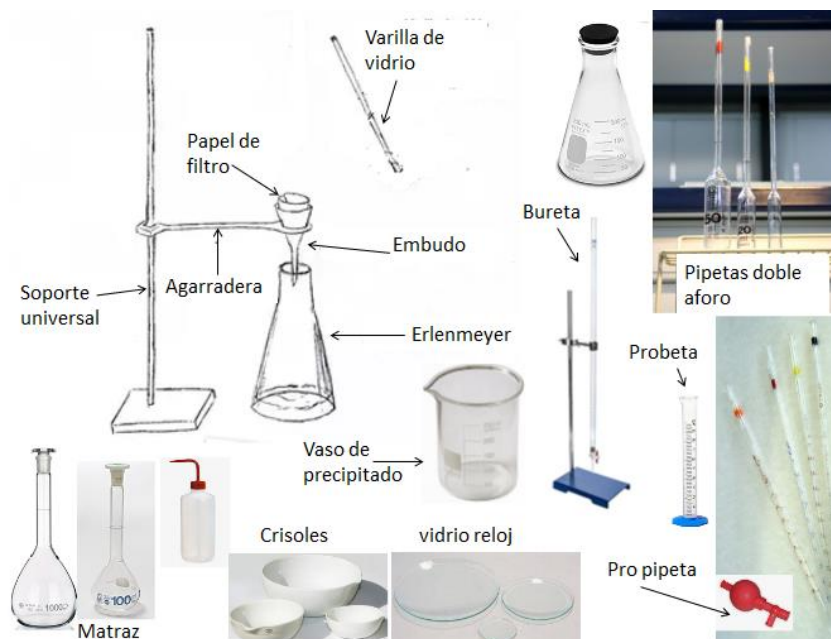


Figura 3.5. *Materiales de laboratorio utilizados*

Fuente: <https://www.freepik.es/fotos-vectores-gratis/instrumentos-laboratorio>

3.2. REACTIVOS

En la tabla 3.2 se listan los reactivos utilizados para las experiencias de laboratorio.

Tabla 3.2. *Reactivos utilizados.*

Reactivos	Cantidad
Carbón activado Parafarm	18 g
Ácido acético glacial	17,2 ml
Solución de Hidróxido de sodio 0,1 N	2000 ml
Ftalato ácido de potasio	1,5689 g
Fenolftaleína	
Agua destilada	

Fuente: Elaboración propia.

3.3. ESTUDIO DE LA ADSORCIÓN DE ÁCIDO ACÉTICO EN CARBÓN ACTIVADO.

A continuación se detalla la metodología utilizada para estudiar el fenómeno de adsorción.

3.3.1. DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA ANÁLITICA UTILIZADA.

a) Se preparan dos soluciones de ácido acético (HAc) de concentración aproximada 0,15 M (figura 3.6).



Figura 3.6. a) Solución de ácido acético aproximadamente 0,15 M b) Campana de extracción.
Fuente: Imagen propia

b) Se prepara una solución de hidróxido de sodio aproximadamente 0,1 N. Además se prepara otra solución de hidróxido de sodio a partir de soluciones disponibles en el Laboratorio de Fisicoquímica. Luego se valora por duplicado con ftalato ácido de potasio (dpp) cada solución de hidróxido de sodio, para conocer su concentración (figura 3.7). En la tabla 3.3 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 3.3. Concentraciones de hidróxido de sodio

Hidróxido de sodio	(N)
1	0,0980
2	0,0986

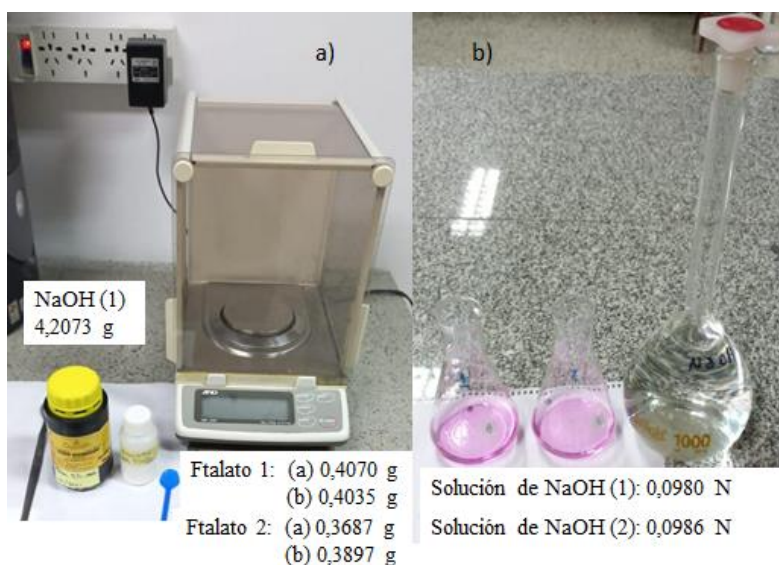


Figura 3.7. a) Pesada de hidróxido de sodio y ftalato ácido de potasio b) titulación de hidróxido de sodio.

Fuente: Imagen propia.

c) Se valoran dos alícuotas de 15 ml de cada solución de ácido acético preparadas en el inciso a), con hidróxido de sodio de título conocido (0,0980 N). En la tabla 3.4 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 3.4. Concentraciones de ácido acético

Ácido acético (HAc) Solución madre	(M)
1	0,1486
2	0,1529

d) A partir de una solución aproximadamente 0,15 M, preparada en el inciso a), se preparan 100 ml de soluciones de 0,15- 0,12- 0,09- 0,06- 0,03 y 0,015 molar (figura 3.8). La solución 0,03 molar se prepara por duplicado.

HAc (M)	Matraz c/tapón (n)	V _{HAc} (ml)
0,150	1	100
0,120	2	80
0,090	3	60
0,060	4	40
0,030	5	20
0,015	6	10
0,030	7 (Testigo)	20

Fuente: Elaboración propia

Una vez preparadas las disoluciones, como ya se conoce la concentración de la solución madre de ácido acético, calculada en el inciso c), se puede recalcular la concentración exacta de las diferentes soluciones preparadas por dilución mediante la siguiente ecuación:

$$(C_0)_n = \frac{(V_{HAc} C_{HAc})_{Sc\ madre}}{V_d} \quad (3.1)$$

Siendo $(C_0)_n$ la concentración exacta de las diferentes disoluciones, C_{HAc} la concentración de la solución madre de ácido acético utilizada, V_{HAc} el volumen de ácido acético pipeteado y V_d son los 100 ml correspondiente al volumen de la disolución, volumen de enrase.

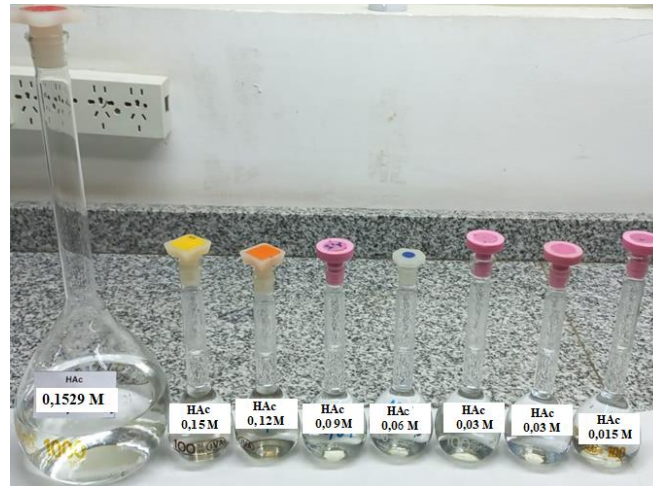


Figura 3.8. *Disoluciones de ácido acético.*
Fuente: Propia

e) Las distintas disoluciones preparadas se colocan en el termostato a la temperatura de trabajo (figura 3.9.a), luego se pesa 1 g de carbón activado (hasta el dg) en cada uno de los 6 erlemeyer, limpios, secos y previamente rotulados (figura 3.9.b).



Figura 3.9. *a) Disoluciones termostatizadas b) Pesada de carbón activado.*
Fuente: Imagen propia

f) Se agrega a cada uno de los erlenmeyers con carbón activado (figura 3.10.a) los 100 ml cada una de las soluciones preparadas anteriormente. En el 7° erlenmeyer sin carbón activado (que servirá de testigo), se agrega los 100 ml de la solución 0,03 M de ácido acético. Luego se tapan bien los 7 erlenmeyers y se agitan enérgicamente durante 10 minutos. Finalmente, se dejan reposar en el termostato (figura 3.10.b) a la temperatura de trabajo durante 30 minutos. Pasado el tiempo se vuelve a agitar por 10 minutos y se deja reposar nuevamente 30 minutos en el termostato, con el fin de alcanzar el equilibrio de adsorción.

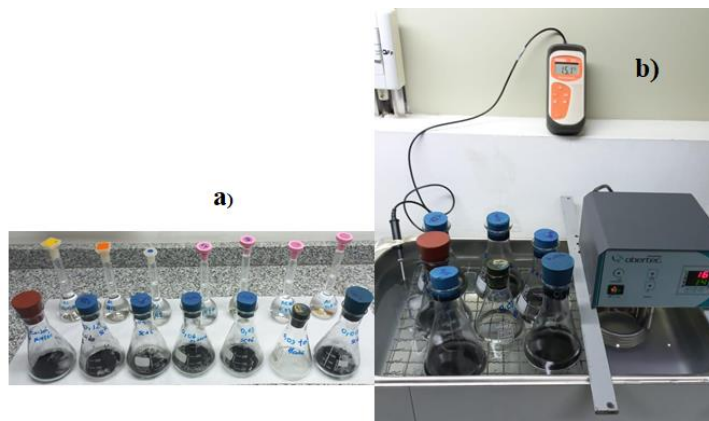


Figura 3.10. a) Mezcla de disoluciones con carbón activado b) Mezcla termostatazadas a la temperatura de trabajo.

Fuente: Imagen propia.

g) Se filtran todas las soluciones (incluido el testigo) con papel de filtro fino, descartándose los 10 primeros mililitros debido a la adsorción por el papel de filtro (figura 3.11).

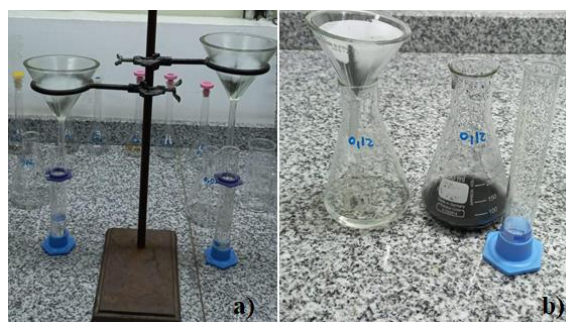


Figura 3.11. a) En la filtración se descartan los primeros 10 ml b) Mezcla filtrada.

Fuente: Imagen propia.

h) Se titulan dos alícuotas de 20 ml de cada solución previamente filtrada, con NaOH estandarizado y fenolftaleína como indicador (figura 3.12).

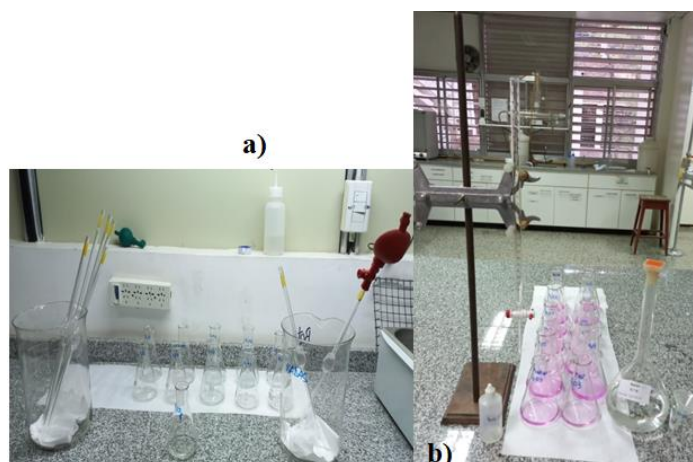


Figura 3.12. a) Toma de alícuota de cada solución filtrada b) Titulación por duplicado

Fuente: Imagen propia

De esta manera se puede calcular la concentración exacta de ácido acético en equilibrio con el sólido de las diferentes soluciones filtradas, mediante la siguiente ecuación:

$$(C_{eq})_n = \frac{(\bar{V}_{NaOH})_n (C_{NaOH})_{conocida}}{V_{Alícuota}} \quad (3.2)$$

Siendo $(C_{eq})_n$ la concentración de ácido acético en equilibrio con el sólido de las distintas soluciones previamente filtrada, \bar{V}_{NaOH} el volumen promedio de hidróxido de sodio gastado en la titulación para las distintas soluciones de ácido acético, C_{NaOH} es la concentración de hidróxido de sodio conocida, calculada en el inciso b) y $V_{Alícuota}$ son los 20 mililitros correspondiente al volumen de alícuota, pipeteado, de la disolución de ácido acético filtrada.

En este trabajo las experiencias de laboratorio para estudiar la adsorción del ácido acético, se realizaron, como ya se mencionó, a temperatura constante (con un margen de error $\pm 0,2$ °C), siendo las mismas 15 °C, 25 °C y 35 °C. Para cada experiencia se repite el procedimiento desde el inciso d al h.

De esta manera se puede conocer los moles iniciales y finales del ácido acético para cada una de las experiencias de laboratorio. Entonces realizando la diferencia entre los moles del ácido acético inicial y final, se calcula los moles adsorbidos por gramo de carbón activado (N) en cada una de las disoluciones, mediante la siguiente ecuación:

$$N_n(\text{mol HAC/g de adsorbente}) = (C_0 - C_{eq})_n V_d \quad (3.3)$$

Donde V_d es 0,1 litro correspondiente al volumen de la disolución, volumen de enrase.

Si m es la masa del adsorbente, carbón activado, una representación de $N(n/m) =$ (moles adsorbidos/por gramo de adsorbente) a P, a T constante, constituye una *isoterma de adsorción*.

3.3.2. MODELOS ISOTÉRMICOS DE ADSORCIÓN UTILIZADOS

Los modelos que se utilizaron en este trabajo son los de Freundlich y Langmuir. A partir de las experiencias de laboratorio se conocen los moles adsorbidos por gramo de adsorbente, por lo que resulta conveniente utilizar las expresiones de los modelos desarrolladas a continuación.

3.3.2.1. MODELO DE LANGMUIR

Reemplazando la presión, de la ecuación 2.10, por la concentración la expresión de Langmuir resulta:

$$\theta = \frac{KC_{eq}}{1 + KC_{eq}} \quad (3.4)$$

Siendo $\theta = N/N_m$, la relación entre el número de moles adsorbidos por gramo de sólido en equilibrio a una concentración C_{eq} y el número de moles por gramo requeridos para formar la capa monomolecular y K la constante de equilibrio, relacionada con el calor de adsorción. Al sustituir θ en la ecuación 3.4 y reordenándola se obtiene la siguiente expresión:

$$\frac{C_{eq}}{N} = \frac{C_{eq}}{N_m} + \frac{1}{KN_m} \quad (3.5)$$

Si graficamos C_{eq}/N en función de C_{eq} se obtendrá una línea recta. Si la isoterma de Langmuir es una descripción adecuada del fenómeno y en ese caso la pendiente de la recta será $1/N_m$. Si se conoce el área a ocupada por una molécula adsorbida sobre una superficie conocida, el área A específica (en m^2 por gramo) será:

$$A = N_m N_0 \sigma 10^{-20} \quad (3.6)$$

Donde N_0 es el número de Avogadro y σ viene expresado en Å^2 . El cálculo de área se realiza suponiendo que el área de adsorción de una molécula de ácido acético es de 21 Å^2 .

3.3.2.2. MODELO DE FREUNDLICH

$$N = k_F C_{eq}^n \quad (3.7)$$

Donde N es el número de moles adsorbidos por gramo de sólido, C_{eq} es la concentración en equilibrio de la solución, n es una constante que varía entre 0,1 y 0,5 y k_F es otra constante que depende de la temperatura y naturaleza del adsorbente. Si se toman logaritmos en la ecuación 3.7 es posible el cálculo de esas constantes:

$$\log N = \log k_F + n \cdot \log C_{eq} \quad (3.8)$$

La representación gráfica de $\log N$ en función de $\log C_{eq}$ da una recta cuando las concentraciones no son muy grandes, de cuya pendiente se calcula n; mientras que la

ordenada al origen permite el cálculo de k_F . Cuando las concentraciones son bajas, N suele ser directamente proporcional a C_{eq} y a concentraciones altas, N se aproxima a un valor límite constante que es independiente de C_{eq} .

3.4. TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS GENERADOS EN EL LABORATORIO.

Toda actividad humana genera residuos que impactan o pueden impactar negativamente sobre el ambiente. Algunos de estos son considerados peligrosos, ya que poseen características que los clasifican como tóxicos, corrosivos o que dañan el medio biótico, abiótico, socioeconómico o cultural. Los generadores de residuos tienen la responsabilidad de realizar las acciones necesarias para que estos residuos no ocasionen daños a su entorno.

Entre los generadores se encuentran las universidades que utilizan en sus laboratorios de enseñanza diferentes sustancias químicas con el propósito de brindar al estudiantado las bases necesarias para la construcción de los conocimientos adecuados en su formación profesional. Estas sustancias químicas, al ser utilizadas en las diferentes prácticas ya sea de síntesis o para análisis, se convierten en residuos químicos que pueden ser nocivos para el medio ambiente y la salud humana.

Estos residuos se caracterizan por su variedad y porque suelen generarse en bajas cantidades, lo que los diferencia de los de origen industrial, donde la variedad es muy acotada a la actividad de la industria y las cantidades generadas son mucho mayores. Los residuos deben gestionarse responsablemente de tal manera que el impacto sobre el ambiente sea mínimo. Aunque los residuos generados en los laboratorios químicos universitarios son sólo una fracción muy pequeña con respecto a los generados por la industria, no puede considerarse despreciable.

En un laboratorio de enseñanza se pueden distinguir los siguientes tipos de residuos¹:

- residuos inertes (de origen mineral, escombros)
- residuos no peligrosos (asimilables a los residuos domiciliarios o municipales)
- residuos especiales o peligrosos. En términos generales, un residuo puede considerarse peligroso si se reconoce en él, un carácter de peligrosidad o de nocividad

¹ Gadea, E. (2005). "NTP 359. Seguridad en el laboratorio: Gestión de residuos tóxicos y peligrosos en pequeñas cantidades" *Notas Técnicas Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, España.* <http://www.insht.e>

que implique un riesgo sobre las personas o el medio. Su identificación o almacenamiento inadecuado constituyen un riesgo añadido a los propios de la actividad de laboratorio. Los residuos especiales de laboratorio incluyen los sólidos, soluciones acuosas, sustancias orgánicas, sustancias inorgánicas, gases, aceites usados etc.

El marco jurídico en el que se encuadra la regulación de los residuos peligrosos en la República Argentina se basa fundamentalmente en la Ley Nacional N° 24051 de “Residuos Peligrosos” que establece las normas para la generación, manipulación, transporte, tratamiento y disposición final de residuos peligrosos². Dicha ley define a los residuos peligrosos como “todo residuo que pueda causar daño, directa o indirectamente a seres vivos o contaminare el suelo, el agua, la atmósfera o el ambiente en general” y se completa esta definición con la inclusión de los residuos considerados peligrosos en una lista (Anexo 1) o que tengan características de peligrosidad dada por el Anexo II de la ley. CABA regula sus residuos peligrosos por medio de la ley N° 2214 “Residuos peligrosos, generación, manipulación, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final”³. Estas leyes son más adecuadas para la gestión de los residuos industriales. Los residuos de laboratorio químicos universitarios no se encuentran mencionados, salvo para el caso de sustancias nuevas de investigación o no identificadas.

La Universidad Nacional de Comahue cuenta con un manual de seguridad en práctica de laboratorio⁴ dirigido a docentes, investigadores, no docentes u otras personas que realicen actividades de manera permanente o eventual en los laboratorios dependientes del Departamento de Química, Facultad de Ingeniería. Todos los estudiantes deben leer el mismo y firmar una declaración comprometiéndose a cumplir con lo estipulado allí. Pero las medidas de seguridad no terminan al finalizar el procedimiento de laboratorio. El depósito indiscriminado de residuos peligrosos, cristal roto, material biológico, etc. puede provocar como ya se mencionó contaminación ambiental, o: accidentes tanto sea en los integrantes del laboratorio, como en el personal de limpieza o mantenimiento, por eso es de suma

²Ley Nacional N° 24051 de “Residuos Peligrosos: generación, manipulación, transporte y disposición final”, República Argentina. <http://www.infoleg.gov.ar/>

³ Ley de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires N° 2214 de “Residuos Peligrosos, generación manipulación, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final”, República Argentina. http://www.buenosaires.gov.ar/areas/leg_tecnica/sin/norma_pop.php

⁴ Manual de seguridad en el laboratorio. (2019.). Departamento de Química. Dirección de carrera Ingeniería Química. Universidad Nacional del Comahue.

importancia la gestión de los residuos. Entonces en cuanto a la disposición de los mismos, deben seguir las indicaciones establecidas en: Procedimiento para el tratamiento de residuos peligrosos. Rev. 04 – UNCo.

Las experiencias de laboratorio realizadas en este trabajo⁵, generaron los siguientes residuos (figura 3.13):

- Soluciones de ácido acético.
- Solución de hidróxido de sodio.
- Carbón activado.
- Soluciones neutralizadas.

En el caso del ácido acético, se recolectó y etiquetó para ser tratado de acuerdo a la normativa vigente en la Universidad Nacional del Comahue para el tratamiento de residuos.

La solución de hidróxido de sodio se recicló de otras experiencias y se guardó para futuro uso.

El papel de filtro con carbón activado se recolectó en una bolsa etiquetada de acuerdo a la normativa vigente en la Universidad Nacional del Comahue para el tratamiento de residuos.

Las titulaciones del ácido acético con hidróxido de sodio generaron soluciones neutralizadas, las cuales fueron desechadas en total acuerdo con el Procedimiento para el tratamiento de residuos peligrosos. Rev. 04 – UNCo. Cabe mencionar que todos los residuos generados en el laboratorio son recolectados periódicamente por una empresa para dar posterior tratamiento a los mismos.

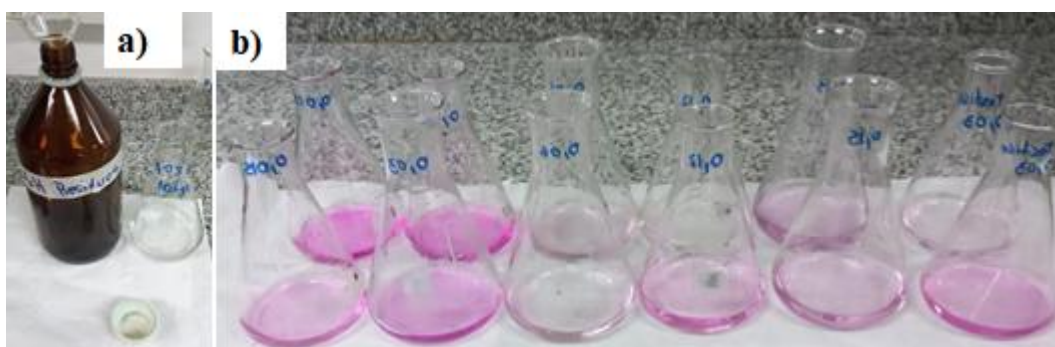
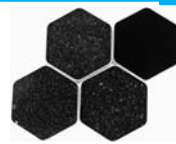
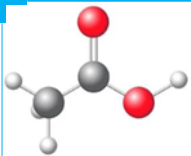


Figura 3.13. Residuos de laboratorio a) En un frasco se recolecta los restos de ácido acético
b) Soluciones neutralizadas.

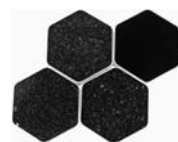
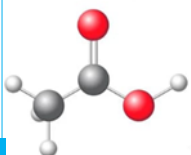
Fuente: Imagen propia

⁵ En anexo 1 se detalla el instructivo de seguridad en el laboratorio.



CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La adsorción se estudió a diferentes temperaturas de trabajo y se realizó un análisis de los resultados obtenidos mediante la aplicación de las isothermas de adsorción.

4.1. ISOTERMAS DE ADSORCIÓN. EXPERIMENTOS TERMOSTATIZADOS A DIFERENTES TEMPERATURAS

En la tabla 4.1 se muestra un resumen de las soluciones utilizadas a las diferentes temperaturas de trabajo: solución madre de ácido acético, solución de hidróxido de sodio utilizada para realizar las titulaciones.

Tabla 4.1. Soluciones de ácido acético e hidróxido de sodio utilizados en las experiencias de laboratorio.

Experimento (°N)	T (°C)	C _{HAc} (M)	NaOH (N)
1	15	0,1529	0,0986
2	25	0,1529	0,0980
3	35	0,1486 Matraz 1,2,3 y 6	0,0980
		0,1529 Matraz 4 y 5	

Fuente: Elaboración propia

Mediante las ecuaciones 3.1, 3.2 y 3.3 se pueden calcular, respectivamente, las concentraciones de las diferentes disoluciones de ácido acético (C_0), las concentraciones de ácido acético en equilibrio con el sólido (C_{eq}) y los números de moles adsorbidos por gramo de carbón activado, para cada experiencia realizada a la temperatura de trabajo. En la tabla 4.2 se detallan los valores obtenidos, en la misma se puede observar que a medida que aumenta la concentración de ácido acético de las distintas disoluciones mayor es la adsorción de ácido acético, ya que se incrementa el número de moles por gramo de carbón activado, en correspondencia con la teoría.

Si se utiliza la ecuación 3.5, que representa la isoterma de Langmuir, al graficar C_{eq}/N en función de C_{eq} , se obtendrá una línea recta si la descripción del fenómeno de adsorción es adecuada. La ecuación 3.8 representa la isoterma de Freundlich, si al graficar el $\log N$ en función de $\log C_{eq}$ se obtiene una recta cuando las concentraciones no son muy grandes, la descripción del fenómeno de adsorción es adecuada. Además, representando la isoterma de Tempkin de la ecuación 2.30 de la siguiente manera:

$$N = A \ln B + A \ln C_{eq} \quad (4.1)$$

Tabla 4.2. Datos obtenidos en las distintas experiencias de laboratorio a las diferentes temperaturas de trabajo

Experiencia °N	T (°C)	Concentración HAc (M)		Moles adsorbido HAc/g de adsorbente (mol/g)
		Inicial (C ₀)	Equilibrio con el sólido (C _{eq})	N
1	15	0,1529	0,1329	0,00200
		0,1223	0,1053	0,00171
		0,0917	0,0762	0,00156
		0,0612	0,0473	0,00138
		0,0306	0,0195	0,00111
		0,0153	0,0067	0,00086
2	25	0,1529	0,1345	0,00184
		0,1223	0,1066	0,00157
		0,0917	0,0772	0,00146
		0,0612	0,0473	0,00139
		0,0306	0,0198	0,00107
		0,0153	0,0069	0,00084
3	35	0,1486	0,1328	0,00158
		0,1189	0,1041	0,00148
		0,0892	0,0757	0,00135
		0,0306	0,0203	0,00102
		0,0149	0,0074	0,00075

Fuente: Elaboración propia

Al graficar N (mol/g) vs. ln (C_{eq} (M)), se obtendrá una línea recta si la descripción del fenómeno de adsorción es adecuada y se podrá obtener de esta manera las constantes, siendo A la constante relacionada con el calor de adsorción (J/mol) y B la constante de equilibrio de la isoterma de Tempkin¹ (l/g). De la ecuación 2.28 correspondiente a la isoterma de Sips, cuando la concentración (C_{eq}) en la solución es baja, el término $k_{LF}C_{eq}^{1/n}$ es pequeño y la suma de $1 + k_{LF}C_{eq}^{1/n}$ en el denominador tiende a 1. Entonces el modelo se transforma en la siguiente ecuación:

$$q_e = q_0 k_{LF} C_{eq}^{1/n} \quad (4.2)$$

Siendo q_e (mmol/g) la cantidad adsorbida por gramo de adsorbente, C_{eq} (mmol/l) la concentración en el equilibrio de adsorbato, q₀ (mmol/g) cantidad adsorbida en la monocapa, k_{LF} es la constante de Sips que representa el parámetro relacionado a la afinidad del adsorbato

¹ Hernández, J. (2019). *Programación en Excel para el análisis de ensayos experimentales de biosorción de contaminantes en medio acuoso*

por la superficie y n (adimensional) es el parámetro que representa la intensidad de la adsorción.

La Ecuación 4.2 presenta la misma forma del modelo de Freundlich y, en ese caso, el producto de la cantidad adsorbida en monocapa q_0 por la constante de Sips k_{LF} , corresponde a la constante k_F de la ecuación de Freundlich². Los parámetros de ajuste y n (normalmente entre 1 y 10) son constantes se pueden obtener del ajuste lineal de la expresión en forma logarítmica, siendo $b = q_0 k_{LF}$:

$$\log q_e = \frac{1}{n} \log C_{eq} + \log b \quad (4.3)$$

Al graficar $\log q_e$ en función de $\log C_{eq}$ se obtendrá una línea recta si la descripción del fenómeno de adsorción es adecuada.

Se puede observar en las figuras 4.1, 4.3 y 4.5 las gráficas de las distintas isothermas de adsorción del ácido acético sobre carbón activado, con su correspondiente ajuste, para cada temperatura de trabajo, siendo las mismas 15, 25 y 35 °C. En las figuras 4.2, 4.4 y 4.6 se puede apreciar el comportamiento de la adsorción, representando los moles de ácido acético por cada gramo de carbón activado en función de la concentración de ácido acético en equilibrio con el sólido, también, para cada temperatura de trabajo.

En la figura 4.7 se puede contemplar de manera comparativa todas las gráficas de las isothermas de adsorción del ácido acético sobre carbón activado, linealizadas, además de los moles del ácido acético por gramo de carbón activado en función de la concentración de ácido acético en equilibrio con el sólido, para las distintas temperaturas de trabajo.

En la figura 4.7.e) se puede distinguir para una misma concentración inicial, aproximadamente 0,15 M, que la cantidad adsorbida de soluto alcanza el mayor valor a 15 °C y el menor valor a 35 °C. Del resto de los gráficos lo que se puede apreciar es una leve influencia de la temperatura con respecto a la cantidad adsorbida de soluto. Dado a que el calor de adsorción es negativo, según el principio de Le Chatelier, al aumentar la temperatura el equilibrio se desplaza hacia los reactivos, es decir que a medida que aumenta la temperatura, aumenta la movilidad de las moléculas adsorbidas sobre la superficie del sólido, con lo que aumenta la probabilidad de que escapen de la superficie del mismo, afectando

² Carvajal, A.M. (2018). Estudio de la adsorción de 4-nitrofenol desde solución acuosa sobre un carbón activado con heteroátomos nitrogenados en la superficie. Aplicación del modelo de Sips. *Colombiana de Química*. 47(1), 27. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v47n1.64561>

negativamente al fenómeno de adsorción. También se puede observar, que a medida que aumenta la concentración de ácido acético aumenta la adsorción.

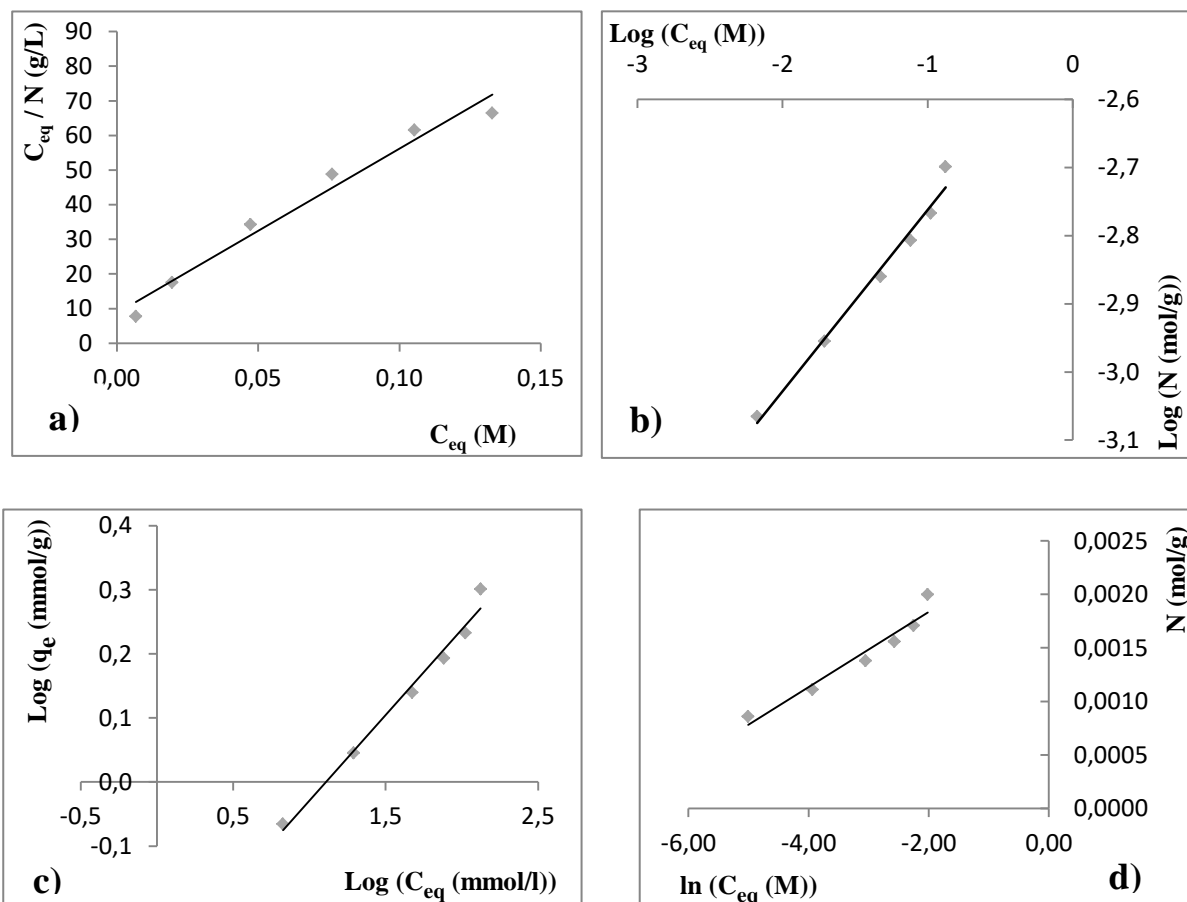


Figura 4.1. ♦ Modelos linealizados de isothermas de adsorción de ácido acético sobre carbón activado a 15 °C de a) Langmuir b) Freundlich c) Sips d) Tempkin

Fuente: Elaboración propia

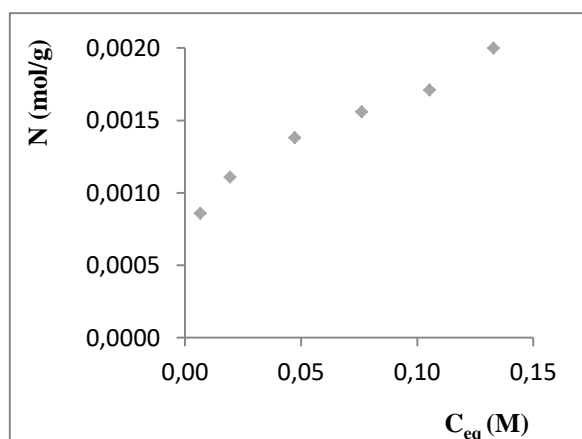


Figura 4.2. ♦ Moles de ácido acético/g de carbón activado vs concentración de ácido acético en equilibrio con el sólido a 15 °C

Fuente: Elaboración propia

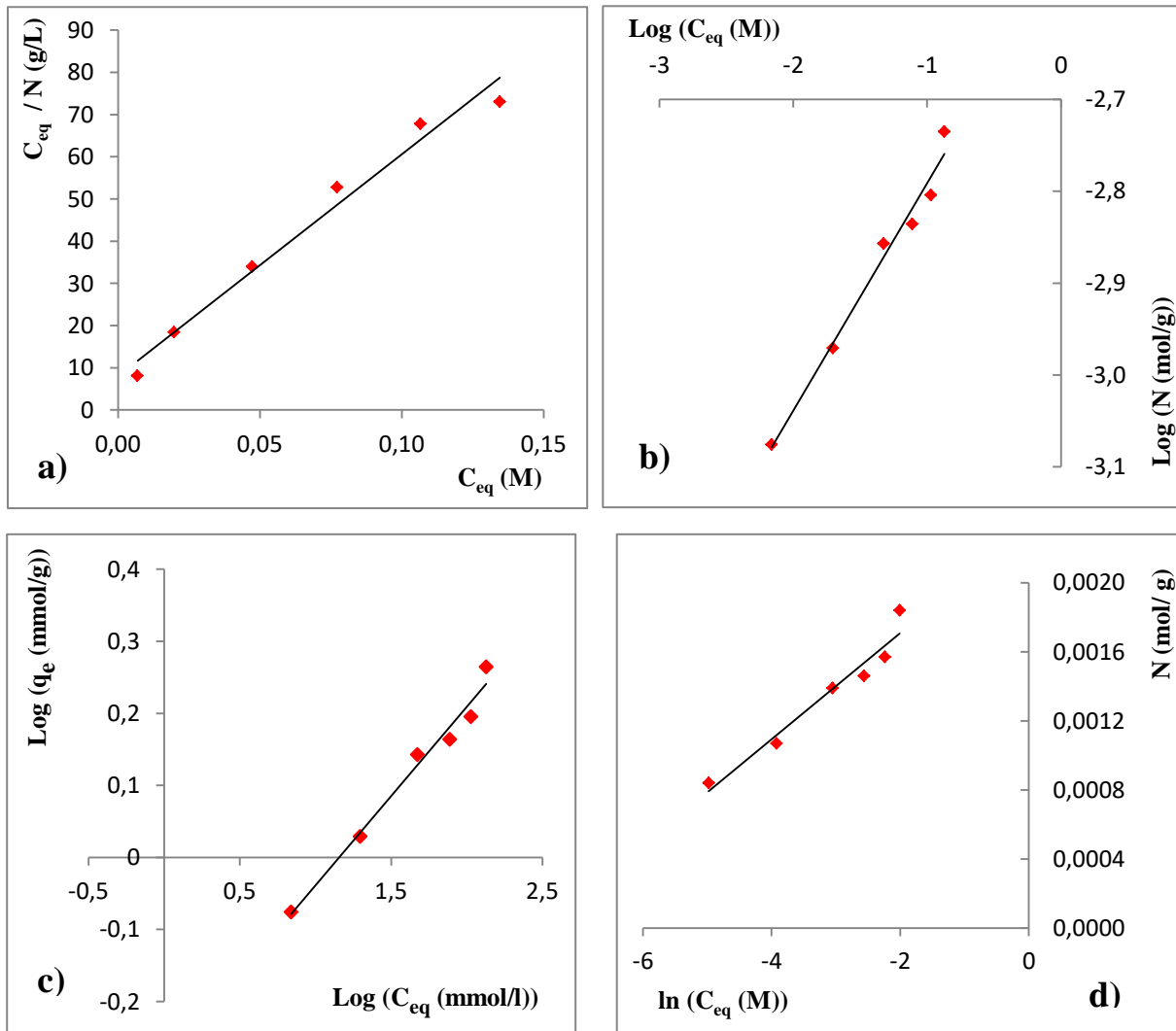


Figura 4.3. ♦ Modelos linealizados de isothermas de adsorción de ácido acético sobre carbón activado a 25 °C de a) Langmuir b) Freundlich c) Sips d) Temkin.
Fuente: Elaboración propia

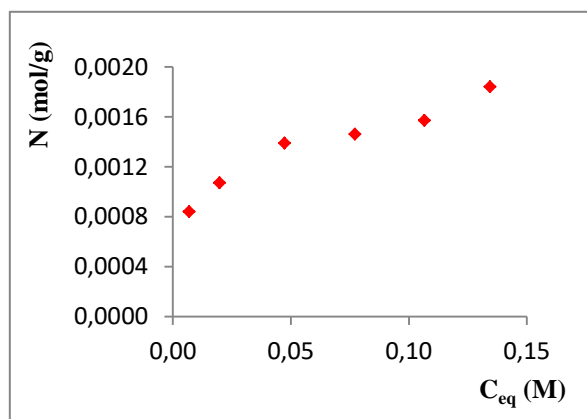


Figura 4.4. ♦ Moles de ácido acético/ g de carbón activado vs concentración de ácido acético en equilibrio con el sólido a 25 °C
Fuente: Elaboración propia

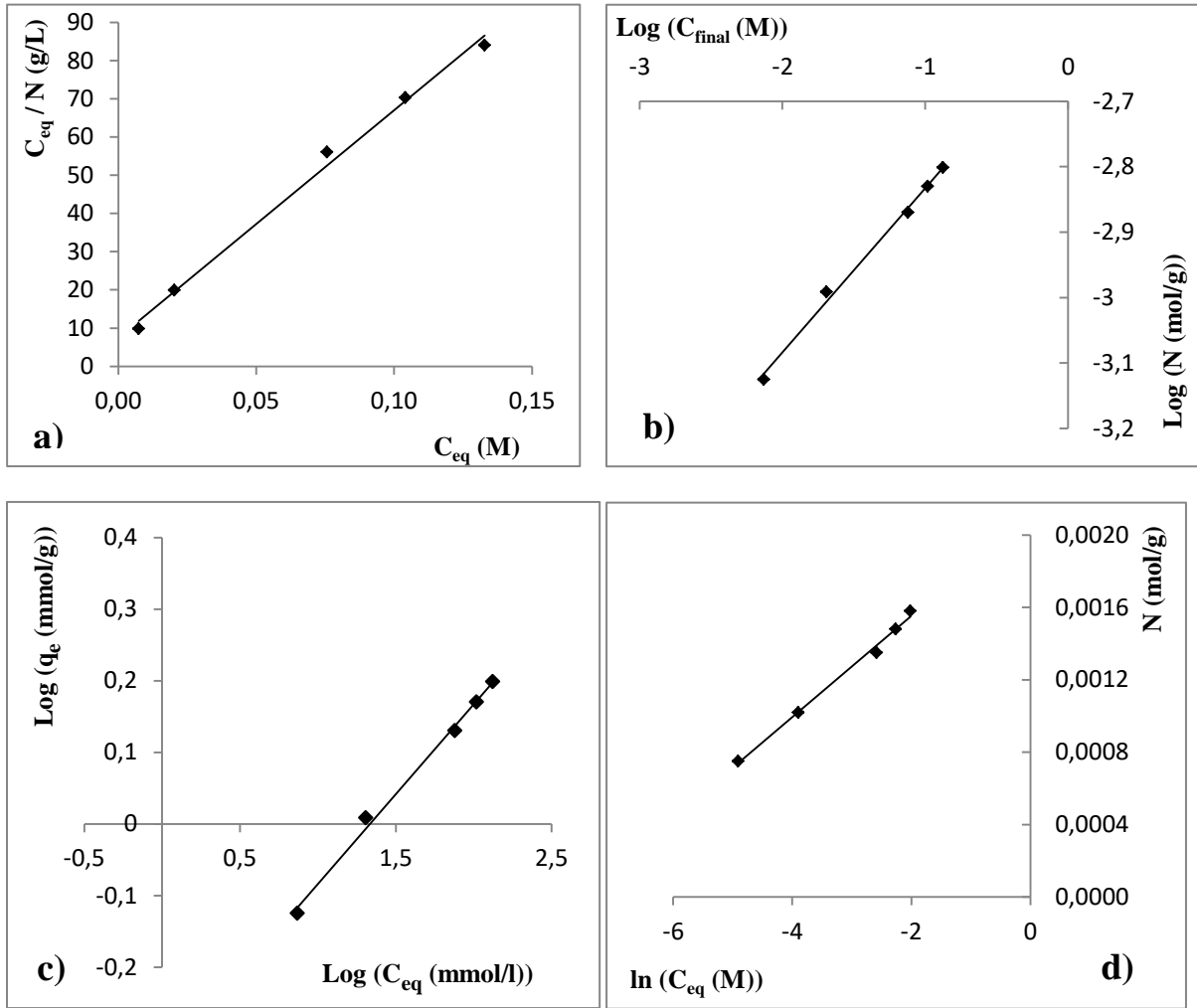


Figura 4.5. ♦ Modelos linealizados de isothermas de adsorción de ácido acético sobre carbón activado a 35 °C de a) Langmuir b) Freundlich c) Sips d) Temkin
Fuente: Elaboración propia

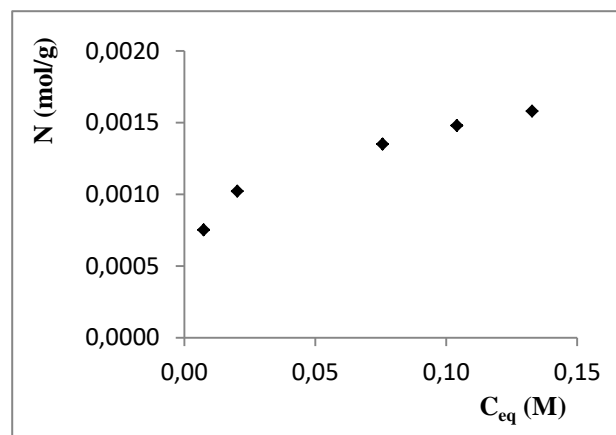


Figura 4.6. ♦ Moles de ácido acético/ g de carbón activado vs concentración de ácido acético en equilibrio con el sólido a 35 °C
Fuente: Elaboración propia

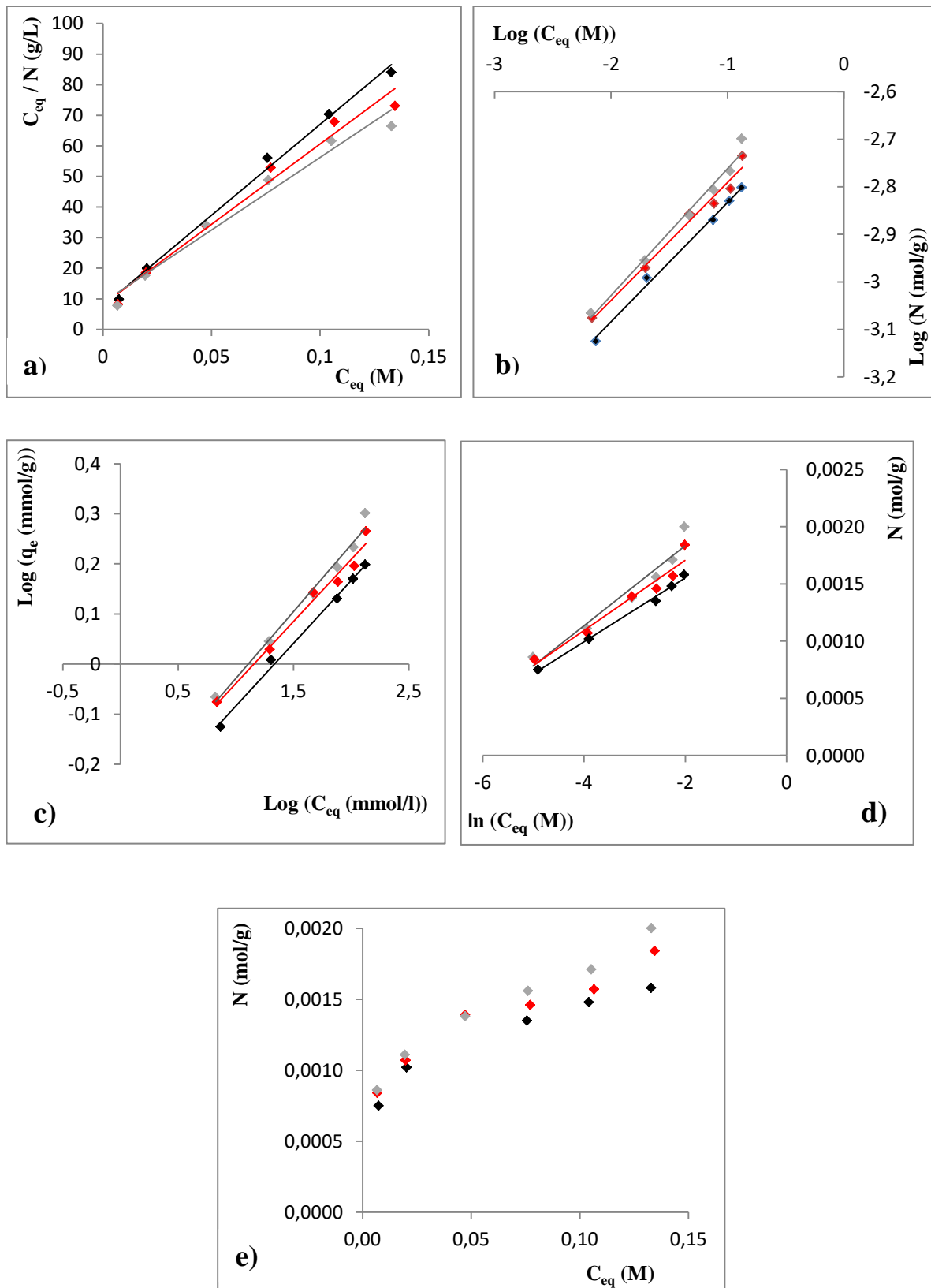


Figura 4.7. Comparación de los modelos de isotermas de adsorción de ácido acético sobre carbón activado a distintas temperaturas (\blacklozenge 35 °C, $\color{red}\blacklozenge$ 25 °C, \blacklozenge 15 °C) a) Langmuir b) Freundlich c) Sips d) Tempkin e) moles de ácido acético/g de carbón activado vs concentración de ácido acético en equilibrio con el sólido

Fuente: Elaboración propia

Los parámetros de las isothermas de Langmuir, Freundlich, Sips y Tempkin a las distintas temperaturas de trabajo, se presentan a continuación en la tabla 4.3.

Tabla 4.3. Parámetros de los modelos de Isothermas de adsorción utilizados

Isothermas	Parámetros	Temperatura (°C)		
		15	25	35
Langmuir $\frac{C_{eq}}{N} = \frac{C_{eq}}{N_m} + \frac{1}{KN_m}$	N_m (mol/g)	0,0021	0,0019	0,0017
	K (L /mol)	54,37	65,03	84,49
	A (m²/g)	265,61	240,32	215,02
	R²	0,9718	0,9779	0,9943
Freundlich $N = k_F C_{eq}^n$	n	0,2668	0,2475	0,2506
	k_F (mol/gMⁿ)	0,0032	0,00286	0,00262
	R²	0,9838	0,9802	0,9952
Sips $q_e = q_0 K_{LF} C_{eq}^{1/n}$	n	3,7481	4,0388	3,9904
	B	0,51	0,52	0,46
	R²	0,9838	0,9802	0,9952
Tempkin $N = A \ln B + A \ln C_{eq}$	A (J/mol)	0,0004	0,0003	0,0003
	B (L/g)	518,01	2135,95	1096,63
	R²	0,9389	0,9496	0,9941
Experimento (°N)		1	2	3

Fuente: Elaboración propia

Dentro de los parámetros de Langmuir se puede apreciar, que el máximo número de moles por gramo requeridos para formar la capa monomolecular (N_m) se da a 15 °C con 0,0021 mol/g y el menor valor de número de moles por gramo de carbón activado requerido para formar la monocapa se da a los 35 °C con 0,0017 mol/g.

Con respecto a la constante de equilibrio K, relacionada con el calor de adsorción, se puede observar que se encuentra dentro del rango 54-85 L/mol, la misma está relacionada con una constante adimensional comúnmente conocida como factor de separación (RL) definida por Weber y Chakravorti (1974) y se calcula para determinar si la adsorción es favorable³ o no. Este factor se define mediante la siguiente ecuación:

$$RL = \frac{1}{1 + KC_0} \quad (4.4)$$

³ Depci., kul. y Onal. (2012)

Donde el valor de RL es un factor adimensional, C_0 es la concentración inicial de ácido acético y K es la constante de la isoterma de Langmuir. La viabilidad del proceso de adsorción se explica utilizando el valor de RL , siendo:

- Desfavorable para $RL > 1$
- Lineal si $RL = 1$
- Favorable si $0 < RL < 1$
- Irreversible si $RL = 0$

En la tabla 4.4 se muestran los valores de RL para cada experiencia realizada, en la misma se puede observar que el factor de separación se encuentra entre cero y uno para las diferentes temperaturas de trabajo, lo que confirma que el proceso de adsorción es favorable.

Tabla 4.4. *Calculo de factor de separación.*

T (°C)	K (L/mol)	C₀ (M)	RL
15	54,37	0,1529	0,1074
25	65,03	0,1529	0,0914
35	84,49	0,1486	0,0738

Fuente: Elaboración propia.

También se pudo determinar que los datos experimentales para las tres experiencias realizadas a distintas temperaturas se ajustaron muy bien al modelo de Langmuir dando un coeficiente de correlación próximo a la unidad.

Al calcular el área de adsorción (tabla 4.3) por gramo de carbón activado, para cada experiencia realizada, se encontró un valor considerablemente más bajo con respecto al valor reportado en la bibliografía⁴ (entre 500 m² y 1500 m² por gramo de carbón activado). Esto quizás se podría asociar a errores experimentales, tales como los errores sistemáticos⁵, estos pueden ser:

- Los errores instrumentales: Todos los aparatos de medición son fuentes potenciales de errores sistemáticos. Por ejemplo, las pipetas, buretas y matraces aforados (o volumétricos) pueden contener y entregar volúmenes un poco distintos de aquellos indicados por su graduación. Estas diferencias surgen de usar cristalería a una temperatura significativamente diferente de la temperatura de calibración, por

⁴Perry, R. H., y Green, D. W. (1992). *Perry Manual del Ingeniero químico*. McGraw- Hill

⁵Skoog, D.A., West, D.M., Holler, F.J. y Crouch, S.R. (2014). *Fundamento de química analítica*. Cengage learning

distorsiones en las paredes de un contenedor debidas al calentamiento mientras se seca una muestra, por errores en la calibración original y por contaminantes en las superficies internas de los recipientes. Los instrumentos electrónicos también están sujetos a errores sistemáticos; estos pueden surgir de diferentes fuentes. Por ejemplo, cuando el voltaje de una batería disminuye por el uso. También pueden ocurrir errores si los instrumentos no se calibran de manera frecuente o si se calibran en forma incorrecta. El experimentador puede utilizar un instrumento en condiciones en las que los errores son abundantes. Los cambios de temperatura pueden provocar variaciones en muchos componentes electrónicos, las cuales pueden llevar a errores. Algunos instrumentos son susceptibles al ruido inducido por las líneas de corriente alterna (CA); este ruido puede influir tanto a la precisión como a la exactitud de un análisis. En muchos casos, los errores de este tipo son detectables y corregibles. Se puede decir que los errores instrumentales son el resultado de un comportamiento instrumental no ideal, debido a calibraciones mal hechas o debidas al uso en condiciones inapropiadas de equipos e instrumentos.

- Los errores de método son el resultado del comportamiento físico o químico poco ideal de un sistema analítico, como ejemplo, un error de método común durante los análisis volumétricos es el resultado de los pequeños excesos de reactivo que se requieren para provocar que un indicador cambie de color y ponga en evidencia el punto de equivalencia. La exactitud de dicho análisis, por lo tanto, está limitada por el mismo fenómeno que hace la valoración posible.
- Los errores personales son el resultado de la falta de cuidado, la falta de atención o por limitaciones personales por parte del experimentador. Muchas mediciones requieren juicios personales. Algunos ejemplos incluyen el estimar la posición de un puntero entre las divisiones de dos escalas, detectar el color de una disolución en el punto final de una valoración o determinar el nivel de un líquido con respecto a la graduación de una pipeta o bureta. Los juicios de este tipo provocan generalmente errores sistemáticos y unidireccionales.

Los errores sistemáticos pueden ser constantes o proporcionales. El efecto de un error constante se hace mucho más grave conforme el tamaño de la magnitud medida se hace más pequeño. El exceso de reactivo que se necesita para producir color durante una valoración es otro ejemplo de error constante. Este volumen, generalmente pequeño, permanece igual sin importar el volumen de reactivo requerido para la valoración; de nuevo, el error relativo

producido de esta manera se agrava conforme el volumen total se hace más pequeño. Una manera de reducir el efecto del error constante es aumentar el tamaño de la muestra hasta que el error sea aceptable. Una causa común de errores proporcionales es la presencia de interferencias o contaminantes en la muestra.

O quizás, más que por errores experimentales, pueda deberse a las características del carbón utilizado, con sitios activos ya ocupados por otras moléculas, por ejemplo agua, disminuyendo así las posibilidades de adsorción.

De los parámetros de Freundlich, que dependen de la temperatura y de la naturaleza del adsorbente, se puede observar que los valores de la constante (k_F), relacionada con la capacidad de adsorción, para las tres experiencias realizadas son muy similares, al igual que la constante (n), relacionada con la intensidad de adsorción. No hay una variación significativa en los resultados con respecto a las distintas temperaturas de trabajo. Los diferentes valores hallados de la constante (n) se encuentran entre 0,1 y 0,5, por lo que se puede inferir que la adsorción del ácido acético en carbón activado es favorable. También se puede observar que los datos experimentales obtenidos para las tres experiencias realizadas a distintas temperaturas de trabajo, se ajustaron muy bien al modelo de Freundlich dando un coeficiente de correlación próximo a la unidad.

En cuanto a la isoterma de Sips se puede apreciar que a bajas concentraciones se reduce al modelo de Freundlich⁶. Y con respecto a la isoterma de Tempkin, como ya se mencionó, el modelo es excelente para predecir el equilibrio en la fase gaseosa, sin embargo presenta desventajas para representar sistemas complejos de adsorción como la adsorción en fase líquida⁷. Todas las isotermas aplicadas presentaron un buen ajuste para la adsorción de ácido acético en carbón activado a las tres temperaturas de trabajo, por lo que se puede inferir que el mecanismo principal es el de quimisorción, es decir se produce una reacción química entre las moléculas del ácido acético y el adsorbente.

Al comparar los modelos, es el modelo de Freundlich el que presenta los mejores valores de R^2 . Sin embargo, la isoterma de Langmuir es en general, más acertada para la interpretación de los datos que la de Freundlich, siempre que se forme una monocapa⁸. Además, hay que

⁶ Sosa, G.L. (2021). Retención de cinc por diatomitas: efecto de sus interacciones con ligandos en sistemas modelo y efluentes de galvanoplastia

⁷ Foo, K.Y. (2010)

⁸ Castellán, G.W. (1998). *Fisicoquímica*. Addison-Wesley Iberoamericana

tener en cuenta que el modelo de Langmuir se construye bajo ciertas hipótesis de trabajo, tales como:

- No todas las posiciones son equivalentes.
- Existen interacciones entre las moléculas adsorbidas y las mismas pueden ser significativas, influyendo en el grado de ocupación y en la afinidad entre adsorbato y adsorbente.
- Pueden formarse capas de fisisorción.

La isoterma de Freundlich si bien es una ecuación empírica aporta datos de los parámetros y se pueden obtener resultados bastante fiables del grado de cubrimiento superficial en determinadas condiciones⁹, este tipo de información es esencial para cualquier análisis de la catálisis heterogénea.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se puede confirmar que el fenómeno de adsorción estudiado describe una isoterma tipo I.

4.2. ISOTERMAS DE ADSORCIÓN. EXPERIMENTOS A TEMPERATURA AMBIENTE, SIN TERMOSTATIZAR

Para completar el estudio del fenómeno superficial de adsorción, se recopiló información disponible en el Laboratorio de Fisicoquímica de la Facultad de Ingeniería, sobre la adsorción de ácido acético en carbón activado a temperatura ambiente, sin termostatar. Los mismos fueron procesados de igual manera que en la sección anterior para obtener las isotermas de adsorción. Se seleccionaron 8 experiencias a fin de analizar los datos experimentales de las mismas. De las 8 experiencias consideradas, se descartaron las experiencias 1, 2 y 3 por no tener datos consistentes con el comportamiento esperado para este proceso de adsorción. Los datos de las restantes experiencias se muestran en la tabla 4.5. Para los experimentos 4 y 7, que reportaron valores de temperatura inicial y final distinta, se tomó un valor medio.

En la figura 4.8 se observan las gráficas de las isotermas de adsorción del ácido acético sobre carbón activado y los moles del ácido acético por gramo de carbón activado en función de la concentración de ácido acético en equilibrio con el sólido, para las distintas temperaturas de trabajo, obtenidas a partir de experimentos realizados a temperatura ambiente, sin termostatar. De la misma se puede distinguir, como ya se mencionó, que a medida

⁹ Atkins, P.W. (1991). *Fisicoquímica*. Addison-Wesley Iberoamericana.

que aumenta la concentración de ácido acético aumenta la adsorción. Además, se puede inferir que la adsorción no depende significativamente de la temperatura y que la dispersión de los puntos se debe a errores propios de la técnica.

Los parámetros de las isothermas de Langmuir y Freundlich de las distintas experiencias sin termostatar, se presentan en la tabla 4.6. De la misma se puede apreciar dentro de los parámetros de Langmuir, que el máximo número de moles por gramo requerido para formar la monocapa capacidad (N_m) se da a 23 °C con 0,0025 mol/g del experimento número seis y con respecto a la constante de equilibrio relacionada con el calor de adsorción (K) se puede observar que se encuentran dentro del rango de 27-53 L/mol.

Tabla 4.5. Datos seleccionados de las distintas experiencias de laboratorio a la temperatura de trabajo.

Exp. (°N)	Año	T (°C)	Concentración HAC (M)		Moles adsorbido HAC/g de adsorbente (mol/g)
			Inicial (C_0)	Equilibrio con el sólido (C_{eq})	N
4	2019	22,8	0,1480	0,1313	0,00167
			0,0888	0,0737	0,00151
			0,0592	0,0463	0,00129
			0,0296	0,0194	0,00102
5	2019	23	0,1490	0,1300	0,00192
			0,1192	0,1040	0,00155
			0,0894	0,0750	0,00148
			0,0596	0,0470	0,00124
			0,0298	0,0190	0,00107
6	2019	23	0,1480	0,1260	0,00220
			0,1184	0,1008	0,00176
			0,0888	0,0740	0,00148
			0,0592	0,0458	0,00134
			0,0296	0,0182	0,00114
7	2019	23,3	0,1490	0,1318	0,00172
			0,1192	0,1037	0,00155
			0,0894	0,0773	0,00121
			0,0298	0,0173	0,00104
8	2019	25	0,1490	0,1306	0,00180
			0,1192	0,1025	0,00170
			0,0596	0,0475	0,00120
			0,0298	0,0199	0,00090

Fuente: Elaboración propia

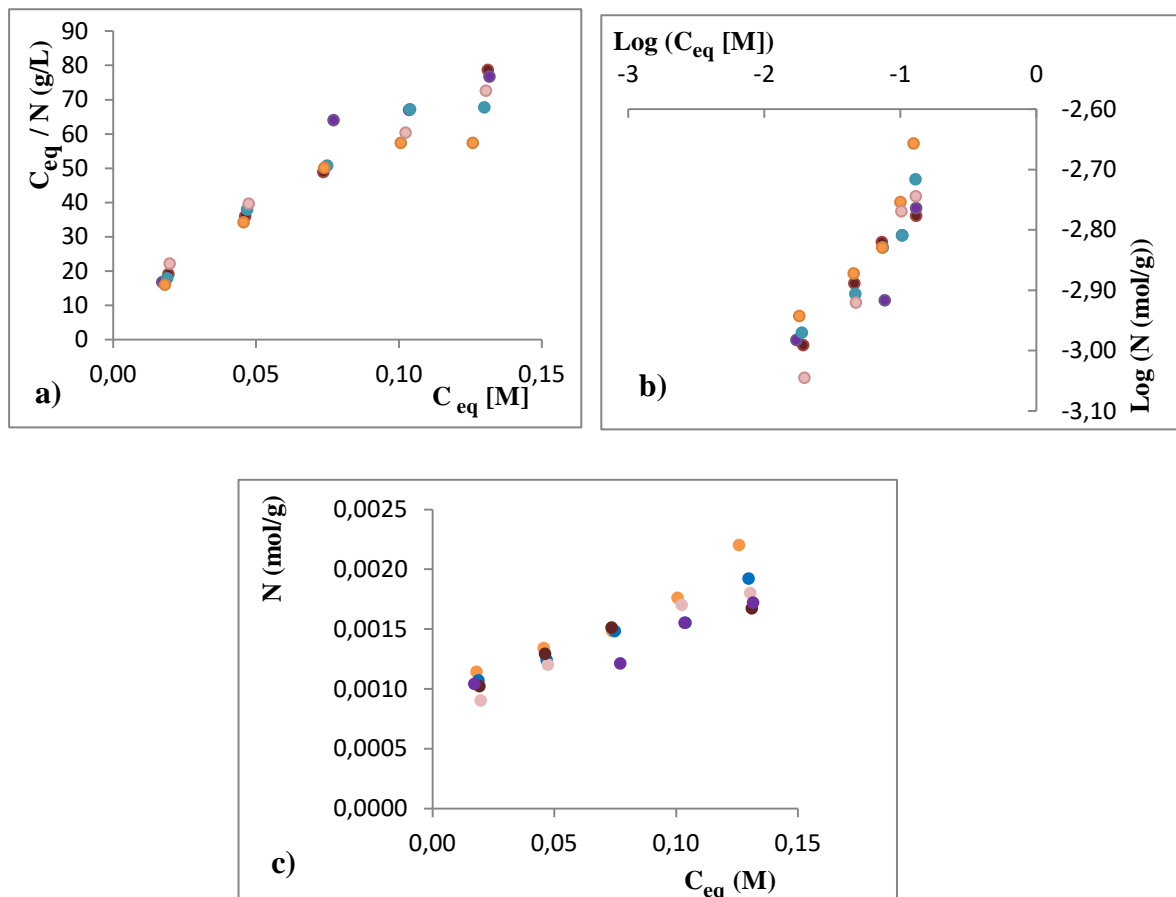


Figura 4.8. Isotermas de adsorción de ácido acético sobre carbón activado de distintas experiencias a temperaturas de trabajo sin termostatar (● Exp. 4 a 22,8 °C, ● Exp. 5 a 23 °C, ● Exp. 6 a 23 °C, ● Exp. 7 a 23,3 °C, ● Exp. 8 a 25 °C) a) Langmuir b) Freundlich c) moles de ácido acético/ g de carbón activado vs concentración de ácido acético en equilibrio con el sólido

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.6. Parámetros de los modelos utilizados para la adsorción sin termostatar

Exp.	T	Langmuir: $\frac{C_{eq}}{N} = \frac{C_{eq}}{N_m} + \frac{1}{KN_m}$				Freundlich: $N = k_F C_{eq}^n$		
		K	N _m	A	R ²	n	k _F	R ²
(°N)	(°C)	(L/mol)	(mol/g)	(m ² /g)			(mol/gM ⁿ)	
4	22,8	52,51	0,0019	240,32	0,9979	0,2645	0,0029	0,9893
5	23	33,88	0,0022	278,26	0,9443	0,2787	0,0031	0,9096
6	23	28,09	0,0025	316,21	0,896	0,3059	0,0037	0,8615
7	23,3	42,09	0,0019	240,32	0,9227	0,2248	0,0025	0,8010
8	25	27,90	0,0023	290,91	0,9900	0,3799	0,0039	0,9942

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.7 se muestran los valores de RL, para cada experiencia seleccionada, en la misma se puede apreciar que el factor de separación se encuentra entre cero y uno, lo que confirma que el proceso de adsorción es favorable.

Tabla 4.7. *Calculo de factor de separación para adsorción sin termostatar.*

Exp. (°N)	T (°C)	K (L/mol)	C ₀ (M)	RL
4	22,8	52,51	0,1480	0,1140
5	23	33,88	0,1490	0,1653
6	23	28,09	0,1480	0,1939
7	23,3	42,09	0,1490	0,1375
8	25	27,90	0,1490	0,1939

Fuente: Elaboración propia.

También se puede observar que los datos experimentales para las experiencias sin termostatar se ajustaron muy bien al modelo de Langmuir dando un coeficiente de correlación próximo a la unidad.

Al calcular el área de adsorción (tabla 4.6) por gramo de carbón activado, para cada experiencia seleccionada, se encontró también valores considerablemente más bajos con respecto al valor reportado en la bibliografía.

En cuanto a los parámetros de Freundlich, se puede observar que los valores de la constante (k_F) para las experiencias seleccionadas son muy similares al igual que la constante (n). No hay una variación significativa en los resultados con respecto a las distintas temperaturas de trabajo. Los diferentes valores hallados de n se encuentran entre 0,1 y 0,5, por lo que se puede inferir que la adsorción del ácido acético en carbón activado es favorable. También se puede observar que los datos experimentales se ajustaron bien al modelo de Freundlich dando un coeficiente de correlación próximo a la unidad.

Al comparar los modelos de todas las experiencias seleccionadas, es el modelo de Langmuir el que presenta los mejores valores, por lo que se confirma que el mecanismo principal es el de quimisorción, es decir se produce una reacción química entre el ácido acético y el adsorbente por lo que el fenómeno también se describe mediante una isoterma de tipo I.

4.3. ISOTERMAS DE ADSORCIÓN. EXPERIMENTOS TERMOSTATIZADOS VS. SIN TERMOSTATIZAR.

Al comparar, en la figura 4.9, las experiencias termostatizadas con las realizadas sin termostatar, se puede apreciar que la dispersión de los puntos no está asociada a la variación en la temperatura, sino a errores propios de la técnica. Los resultados obtenidos para las experiencias termostatizadas, así como para las no termostatizadas, en relación al cálculo del área de adsorción por gramo de carbón activado, que fue inferior al valor reportado en

bibliografía, puede deberse a factores tales como que la agitación de las soluciones no haya sido lo suficientemente fuerte y uniforme, que la técnica requiera de más tiempo de estacionamiento para alcanzar el equilibrio o quizás pueda deberse a que las características del carbón utilizado pudiera tener sitios activos ya ocupados por otras moléculas, por ejemplo agua, disminuyendo así las posibilidades de adsorción.

Además, para cada experiencia se trabajó con seis o cinco muestras, mientras que la aproximación de área hecha por Dunicz¹⁰ (1961) indica por lo menos 12 de ellas, a medida que se aumenta el tamaño del sistema en estudio, el efecto del error constante disminuye. Por lo tanto, los errores constantes se pueden detectar de manera simple cambiando el tamaño de la muestra¹¹.

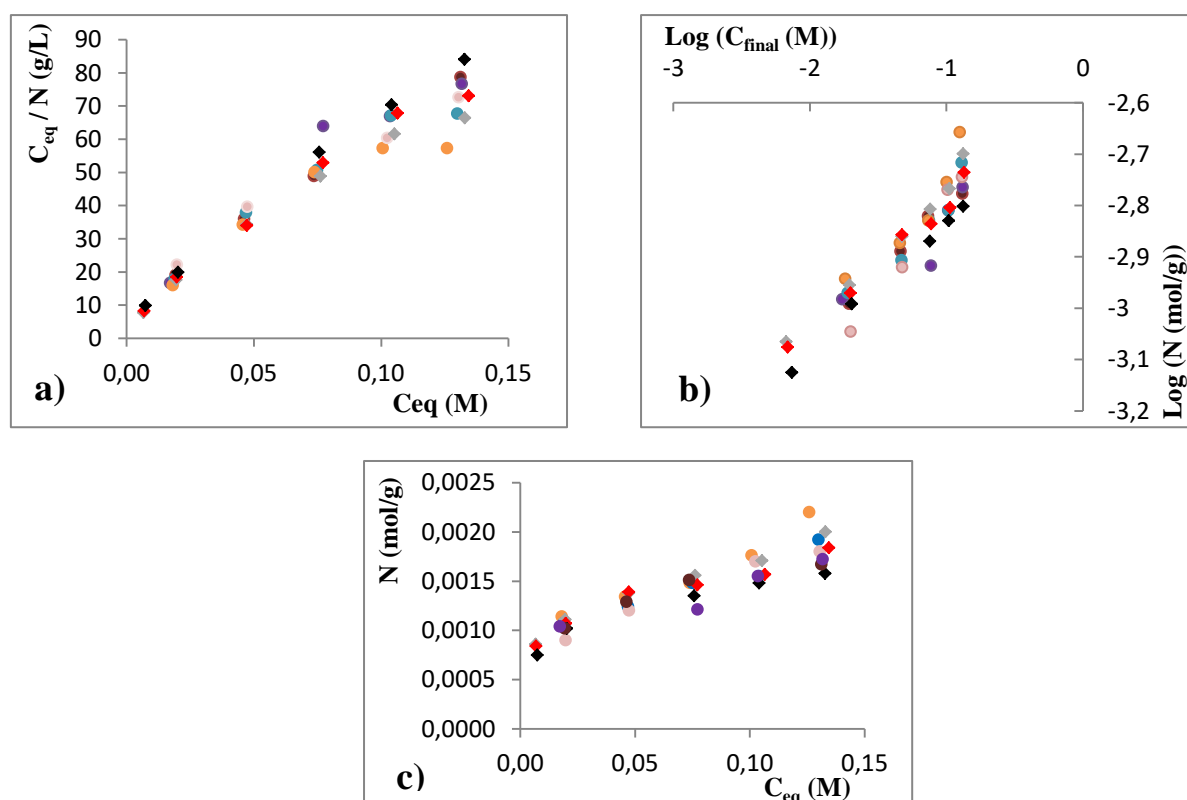


Figura 4.9 Isotermas de adsorción de ácido acético sobre carbón activado de distintas experiencias a temperaturas de trabajo Termostatzadas (\blacklozenge 35 °C, $\color{red}\blacklozenge$ 25 °C, $\color{grey}\blacklozenge$ 15 °C) Vs. No termostatzadas ($\color{red}\bullet$ Exp. 4 a 22,8 °C, $\color{blue}\bullet$ Exp. 5 a 23 °C, $\color{orange}\bullet$ Exp. 6 a 23 °C, $\color{purple}\bullet$ Exp. 7 a 23,3 °C, $\color{pink}\bullet$ Exp. 8 a 25°C). a) Langmuir b) Freundlich c) moles de ácido acético/ g de carbón activado vs concentración de ácido acético en equilibrio con el sólido

Fuente: Elaboración propia.

¹⁰ Dunicz, B. L. (1961). *Surface area of activated charcoal by Langmuir adsorption isotherm. Journal of Chemical Education*, 38(7), 357.

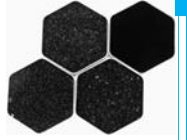
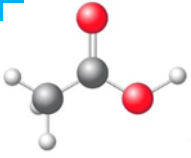
¹¹ Skoog, D.A., West, D.M., Holler, F.J. y Crouch, S.R. (2014). *Fundamento de química analítica*. Cengage learning

En la tabla 4.8 se muestra los valores de factor de separación para ambas experiencias. De la misma se puede observar que en las mediciones sin termostatar los valores de RL son un poco más grandes.

Tabla 4.8. Comparación del factor de separación para las experiencias termostatzadas y sin termostatar

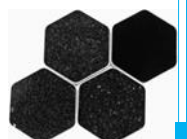
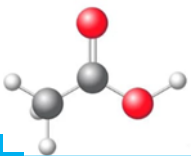
Mediciones termostatzadas			Mediciones sin termostatar		
Exp. (°N)	T (°C)	RL	Exp. (°N)	T (°C)	RL
1	15	0,1074	4	22,8	0,1140
2	25	0,0914	5	23	0,1653
3	35	0,0738	6	23	0,1939
			7	23,3	0,1375
			8	25	0,1939

Fuente: Elaboración propia



CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES



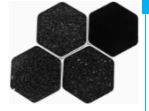
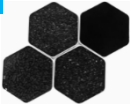
5. CONCLUSIONES

- Se estudió el fenómeno superficial de adsorción de ácido acético en carbón activado mediante el análisis de isotermas de adsorción. Las mismas se construyeron en base a las mediciones obtenidas en experimentos termostatizados a diferentes temperaturas (15 °C, 25 °C, 35 °C) y mediante datos de adsorción a temperatura ambiente, sin termostatar, disponibles en el Laboratorio de Fisicoquímica de la Facultad de Ingeniería de la UNCo.
- Para los datos de adsorción termostatizados se encontró que los modelos de Langmuir, Freundlich, Sips y Tempkin, describen de manera adecuada el fenómeno de adsorción de ácido acético en carbón activado. Con los datos de adsorción a temperatura ambiente, también se encontró que los modelos de Langmuir y Freundlich se ajustaron muy bien. En general, siempre que se forme una monocapa, es la isoterma de Langmuir la más apropiada para la interpretación de los datos¹. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se pudo inferir que el mecanismo principal es el de quimisorción, es decir, se produce una reacción química entre las moléculas de ácido acético y el adsorbente. Además, también se puede confirmar que el fenómeno de adsorción estudiado describe una isoterma tipo I, de acuerdo a la clasificación propuesta por Brunauer (1938).
- Se pudo determinar a partir de los experimentos termostatizados a diferentes temperaturas, que para una misma concentración inicial, aproximadamente 0,15 M, la cantidad adsorbida de soluto alcanza el mayor valor, de 0,002 mol/g, a 15 °C y el menor valor, de 0,00158 mol/g, a 35 °C. Estos resultados ponen en evidencia una leve influencia de la temperatura con respecto a la cantidad adsorbida de soluto. Dado que la adsorción es un proceso exotérmico, por el principio de Le Chatelier, al aumentar la temperatura el equilibrio se desplaza hacia los reactivos. El aumento de temperatura, aumenta la movilidad de las moléculas adsorbidas sobre la superficie del sólido, con lo que aumenta la probabilidad de que escapen de la superficie del mismo, afectando negativamente al fenómeno de adsorción.
- Al comparar las experiencias termostatizadas con las realizadas a temperatura ambiente, se puede percibir que la dispersión de los puntos no está asociada directamente a la variación en la temperatura, sino que puede ser debido a errores propios de la técnica analítica utilizada. Entonces, como no hay una variación

¹ Castellán, G.W. (1998). *Fisicoquímica*. Addison-Wesley Iberoamericana

significativa con la temperatura, se podrían realizar los experimentos sin termostatar las muestras, bajo la hipótesis de que la temperatura ambiente es constante, para poder construir las isotermas de adsorción y poder realizar el estudio pertinente.

- Aunque en general el método utilizado en este trabajo introduce cierta incertidumbre en la determinación de N (mol/g), debido a que la diferencia de $C_0 - C_{eq}$ es muy pequeña, los resultados a los que da lugar permiten analizar la dependencia del grado de adsorción de un material con su concentración. Es decir que a medida que aumenta la concentración de ácido acético de las distintas disoluciones mayor es la adsorción de ácido acético, ya que se incrementa el número de moles adsorbidos por gramo de carbón activado, en correspondencia con la teoría.
- Los experimentos de adsorción son de suma importancia, pues se puede analizar la adsorción de diferentes tipos de sustancias y además se puede cuantificar el área superficial del adsorbente utilizado a través de procesos químicos simples como diluciones y titulaciones. Para fines prácticos educativos, los resultados cumplieron el objetivo del experimento al analizar el comportamiento de la adsorción de ácido acético en carbón activado utilizando las isotermas.
- En este trabajo se puede observar que el carbón activado tiene características potenciales para ser utilizado en aplicaciones ambientales; tales como la remoción del ácido acético que se encuentran en medios acuosos; así como contribuir al mejoramiento del medio ambiente y a la salud del hombre al reducir la carga de este contaminante en los cuerpos de agua (Chen, 2015; Hernández et al., 2019), por lo que amerita que haya más investigaciones.
- Las universidades juegan un rol importante en la formación de profesionales respetuosos del ambiente, desarrollando buenos hábitos y prácticas en los estudiantes, tanto en la universidad y su entorno. En este seminario de investigación los residuos generados en la práctica de laboratorio fueron tratados de acuerdo a la normativa vigente en la Universidad Nacional del Comahue para el tratamiento de residuos. Ya que los mismos deben gestionarse responsablemente de tal manera que el impacto sobre el ambiente y la salud humana sea mínimo.

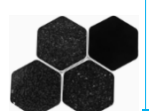
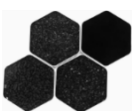


CAPÍTULO 6

PROPUESTA DE ENSEÑANZA

DISEÑO DE UNA UNIDAD DIDÁCTICA:

“COLORES DE MODA, UNA TENDENCIA QUE VA MÁS ALLÁ DE LA PRÓXIMA TEMPORADA...”



6. ¿EN QUÉ CONSISTE LA PROPUESTA? ¿A QUIENES VA DESTINADA?

La propuesta de enseñanza surge en el marco del seminario de investigación “Estudio del fenómeno de adsorción en superficies sólidas” desarrollada en el Laboratorio de Fisicoquímica de la Facultad de Ingeniería como una experiencia de integración de conocimientos del profesorado. La misma se fundamenta teóricamente y se plasma en una Unidad Didáctica (UD) destinada a estudiantes del ciclo básico de nivel secundario de Neuquén.

La UD está pensada para estudiantes de segundo año cuyas edades están comprendidas entre 14 y 15 años y sus contenidos se planificaron para el espacio curricular de Fisicoquímica. La contextualización de dichos contenidos a través de la perspectiva CTS (Ciencia, Tecnología, Sociedad) permitió organizarlos en torno a *La contaminación del agua por colorantes*, como temática de relevancia social seleccionada.

La UD contiene actividades de inicio, desarrollo y cierre con actividades experimentales donde se observarán fenómenos de adsorción. Dado que dichos fenómenos son dependientes de la naturaleza de las sustancias involucradas y dado que, ni los fenómenos de adsorción ni los métodos de análisis utilizados en la investigación de este seminario, son factibles de trabajar en la escuela secundaria; se probaron diferentes adsorbentes y adsorbatos en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería poniéndose a punto las actividades experimentales con materiales y técnicas acordes a la edad, a los contenidos curriculares y a los recursos de las escuelas.

Los contenidos curriculares de segundo año de Fisicoquímica actuales que se pueden abordar con esta UD son: *Métodos de separación de fases y de componentes en sistemas materiales. Métodos físicos y químicos utilizados en la industria y en diferentes comunidades. Implementación de las 5 R (reemplazar, reducir, reciclar, reutilizar, recuperar/reparar). La importancia de la Teoría cinética molecular. El soluto y solvente como componentes de un tipo de mezcla: las soluciones. Las soluciones en los distintos subsistemas (litósfera, hidrósfera, atmósfera y biosfera). Raíces de nuestra tierra: técnicas utilizadas por diferentes pueblos originarios a través de la historia en la preparación de diferentes soluciones para la elaboración de pinturas/tinturas. El agua como derecho Humano. Transporte del agua en los diferentes subsistemas y su relación con las problemáticas ambientales.*¹

¹ Diseño curricular: Área ciencias Naturales. Resolución CPE N° 1463/2018

En el apartado 1 de este capítulo 6 se abordarán los constructos teóricos que fundamentaron el diseño de la UD, en el apartado 2 se describirán algunas actividades de trabajo en laboratorio que conllevó la construcción de la unidad. En el apartado 3 se muestra la UD tal y como se presentaría a los estudiantes y por último en el apartado 4 se presentan algunas reflexiones sobre el diseño de la propuesta de enseñanza.

6.1. FUNDAMENTOS

6.1.1. POSICIONAMIENTO EPISTEMOLÓGICO

La propuesta se fundamenta en una concepción constructivista del aprendizaje. Según el constructivismo, el verdadero conocimiento es el fruto de una elaboración o construcción personal, resultado de un proceso interno de pensamiento en el curso del cual el sujeto coordina entre sí diferentes nociones, atribuyéndoles un significado, organizándolas y relacionándolas con otras anteriores. El aprendizaje, es un proceso activo e intransferible (Coll et al., 1992), es decir el estudiante tiene una participación dinámica y nadie puede realizarlo por él.

Durante dicho proceso cognitivo el estudiante va construyendo esquemas de conocimiento para interpretar sus experiencias, los desarrolla, los modifica y así, va logrando nuevos significados (Garcia y Mazzarella, 2011).

Entonces, en una intervención didáctica constructivista se hace necesario explorar los esquemas de conocimiento que poseen los estudiantes (concepciones alternativas), motivarlos a aprender conocimientos que sean relevantes para ellos e invitarlos a reflexionar sobre lo que han aprendido. Por lo tanto, es importante emplear estrategias metacognitivas que le permitan planificar, supervisar y regular sus propias capacidades cognitivas (Campanario y Otero, 2000) de modo que dentro de la UD se incluyeron espacios de autoevaluación, reflexión y debate.

En síntesis, las principales características de un modelo de enseñanza constructivista que se tuvieron en cuenta son:

- Lo que hay en el cerebro de quien va a aprender tiene importancia.
- Los conocimientos previos de los alumnos influyen en las interpretaciones de los fenómenos y las explicaciones.

- Quien aprende construye activamente significados y no sólo reproduce lo que se le enseña.
- Encontrar sentido implica establecer relaciones lo cual posibilita que los conocimientos perduren en el tiempo.

6.1.2. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE CONTENIDOS

6.1.2.1. CONTENIDOS QUE VINCULAN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD

A partir de los años 80, el movimiento CTS (Ciencia-Tecnología-Sociedad) se fue extendiendo en todo el mundo con el propósito de motivar y promover la alfabetización científica en la escuela. Este movimiento supone que, abordando temáticas que vinculan la ciencia, la tecnología y la sociedad, los conocimientos escolares adquieren un sentido, se vinculan con problemas cotidianos y permiten a los estudiantes desarrollar el pensamiento crítico, comprender problemas reales y tomar decisiones en la sociedad (Sanmartí, 2002).

Por muchas necesidades socio científicas que comprender y atender, la educación CTS sigue siendo muy importante. A nivel mundial el planeta se encuentra en una crisis ambiental donde es necesario centrar la educación ambiental, la educación para la sostenibilidad donde confluyen en el campo de la educación ética y se muestren cuestiones valorativas que resalten la relación recíproca de la sociedad, tecnología y el medio ambiente (Monroy, 2020).

En la tabla 6.1, se puede ver una comparación entre la enseñanza tradicional y la enseñanza CTS (Sevillano, 2020).

Abordar una problemática socio-científica a partir de un enfoque CTS puede cambiar la visión descontextualizada de la ciencia que tienen los estudiantes y aumentar su motivación (Fernández et al., 1999).

Entonces, en esta propuesta se pretende trabajar desde una didáctica de las ciencias, donde se deja de lado el modelo tradicional de enseñanza expositivo y la repetición memorística de contenidos. En su lugar, busca la participación activa de los estudiantes y la construcción de conocimientos y de una imagen de Ciencia con una función social, y no como una propiedad de unos pocos especialistas y que se agota en sí misma. De manera que estudiar ciencias, leer y debatir sobre cuestiones de ciencia, sea un asunto de todos los ciudadanos para tomar decisiones de orden científico, político, globales y particulares que afectan a una región

(Claret, 2005), educando científicamente a la población para que sea consciente de los problemas del mundo, formando individuos más críticos, más responsables y más comprometidos con su entorno (Valencia et al., 2005).

Tabla 6.1. *Diferencia entre Orientación Tradicional y CTS en la enseñanza de las ciencias*

Orientaciones tradicionales	Orientaciones CTS
Los profesores y los libros de texto son las principales fuentes de conocimiento.	Los estudiantes buscan activamente la información que usan, orientados por el/la docente.
La ciencia es abstracta y no tiene relación con la Tecnología.	Los estudiantes ven a la ciencia y a la tecnología como una forma de tratar los problemas de la vida diaria.
Los estudiantes se concentran sobre problemas que son identificados por el profesor o los libros de texto.	Los estudiantes identifican problemas sobre ellos mismos o su comunidad y se responsabilizan de resolverlos.
Se da una consideración mínima a la capacidad adaptativa humana.	Se enfatizan la adaptación humana y las futuras alternativas.
No se interpretan los valores en los problemas de la disciplina.	Se consideran las cuestiones relacionadas con las dimensiones en valores, éticas y morales de los problemas.
El currículo está centrado en los libros de texto, es inflexible y desde una visión limitada del contenido.	El currículo está centrado en los problemas, es flexible y válido tanto cultural como científicamente.
La información está enmarcada en el contexto de la lógica y estructura de la disciplina.	La información se enmarca en el contexto del estudiante como una persona en un entorno social/cultural.

Fuente: Adaptación de Sevillano, R. (2020)

6.1.2.2. CONTENIDOS QUE ATIENDAN AL ENFOQUE DE EDUCACIÓN AMBIENTAL INTEGRAL (EAI) Y AL DISEÑO CURRICULAR DONDE SE APLICA LA PROPUESTA

El agua es una temática CTS que hoy cobra especial relevancia en la región por su uso en diversas actividades recreativas, industriales, etc. El estudio del agua, es necesario y urgente, siendo un contenido que atiende a la Ley 27.621 de Educación Ambiental Integral recientemente sancionada en la República Argentina (INFOD², 2023) pues permite desarrollar actitudes de compromiso con el cuidado y sostenimiento de todas las formas de vida.

El estudio del agua entendida como un bien común y como un derecho de todos (Martínez et al., 2022; Canciani y Telias, 2022; Sotelo y Romero, 2022), puede aportar herramientas valiosas para la enseñanza de conceptos disciplinares por ser un sistema material en el que se llevan a cabo diversos procesos físicos, químicos y biológicos. Al mismo tiempo, permitiría el

² Instituto Nacional de Formación Docente, dependiente del Ministerio de Educación de Argentina

desarrollo de procedimientos y actitudes positivas, no sólo para el aprendizaje de las ciencias naturales (Figura 6.1) sino para el aprendizaje de valores de preservación y cuidado de los recursos naturales.

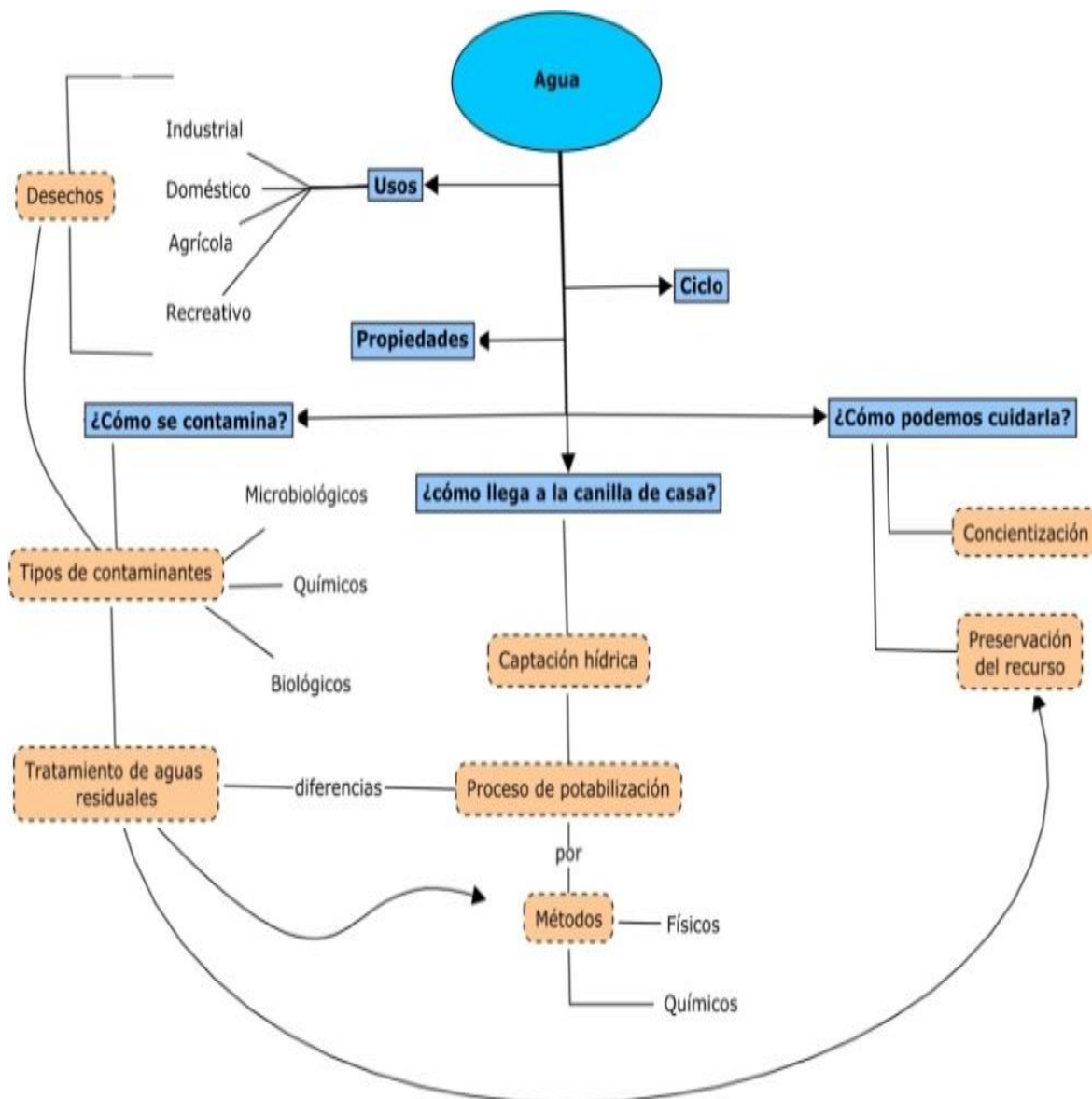


Figura 6.1. Estudio del agua interdisciplinariamente.
Fuente: Adaptado Montenegro, 2014

Por ello, en este trabajo se propone abordar la contaminación del agua con sustancias colorantes y su posible tratamiento a través del fenómeno de adsorción en adsorbentes de uso cotidiano, el talco (Zaupá et al., 2016) y carbón común. De esta manera, además, puede establecerse una integración de los conocimientos químicos abordados en una investigación

disciplinar sobre adsorción y una experiencia de transposición didáctica (Chevallard, 1985) de dicho contenido.

Partiendo de la problemática de la contaminación del agua por el vertido de colorantes artificiales de la industria textil, se proyecta arribar a los métodos de separación de mezclas, donde es factible estudiar experimentando con fenómenos de adsorción en superficies sólidas.

6.1.2.3. CONTENIDO QUE DESPIERTEN INTERÉS EN LOS ESTUDIANTES

Considerando que la UD está dirigida a estudiantes adolescentes, y que en esta etapa ellos se encuentran en busca de la identidad a través de diversos intereses como puede ser la música, la manera de vestir, etc., se orientaron las actividades disparadoras hacia la moda en la indumentaria. La moda y su influencia son elementos importantes para la construcción de la identidad cultural (Toribio y Álvarez, 2018). Podríamos pensar que antes de salir los adolescentes seleccionan entre varios roperos imaginarios: uno tiene el cartel que dice “Padres”, otro dice “Grupo de pares” y otro que dice “Ídolos” (figura de la música, del deporte, TV etc.). Allí tomará y dejará prendas, tratará de combinar la corbata de papá con el pantalón de cuero de su artista favorito y las zapatillas que compró su amigo del club, tratando de armar el vestuario más acorde a su modo de ser. Estos elementos han sido motivo de estudio y análisis desde distintas investigaciones relacionadas con la psicología (Descamps, 1986), la historia de la moda (De Sousa, 2007), y el marketing (Martínez Vázquez, 2007). De acuerdo con Pérez y Varela (2006) presentarles a los alumnos temas con los que ellos estén sensibilizados y les motive, permite de tal manera que el tratamiento de estos problemas sirva de puente entre el conocimiento cotidiano y el científico. Por tal motivo se propone lecturas sobre estas temáticas vinculadas a los colorantes en la industria textil.

6.1.3. CRITERIOS DE ORGANIZACIÓN Y SECUENCIACIÓN DE LOS CONTENIDOS

Se adoptará un enfoque globalizador en el cual se concibe que la solución a los problemas de la realidad son resultado del uso relacionado, integrado o simultáneo de los recursos intelectuales provenientes de distintas disciplinas. Por lo que ofrecer a los estudiantes situaciones reales donde el objeto de estudio se debe analizar desde distintas perspectivas es enriquecedor y fomenta una visión de ciencia y de naturaleza de la ciencia más acorde a la real. En esta UD, los contenidos se organizarán en torno a la temática transversal: *Contaminación del agua por colorantes*. Por otra parte, la secuenciación de los contenidos; es

decir, su distribución en el tiempo se hará desde lo general a lo particular, desde lo concreto a lo abstracto apoyándonos, para esto último, en la modelización.

Las actividades seguirán un ciclo de aprendizaje (Jorba y Sanmarti, 1993) que incluye las fases: exploración, introducción de nuevos conocimientos, estructuración y aplicación (Figura 6.2).

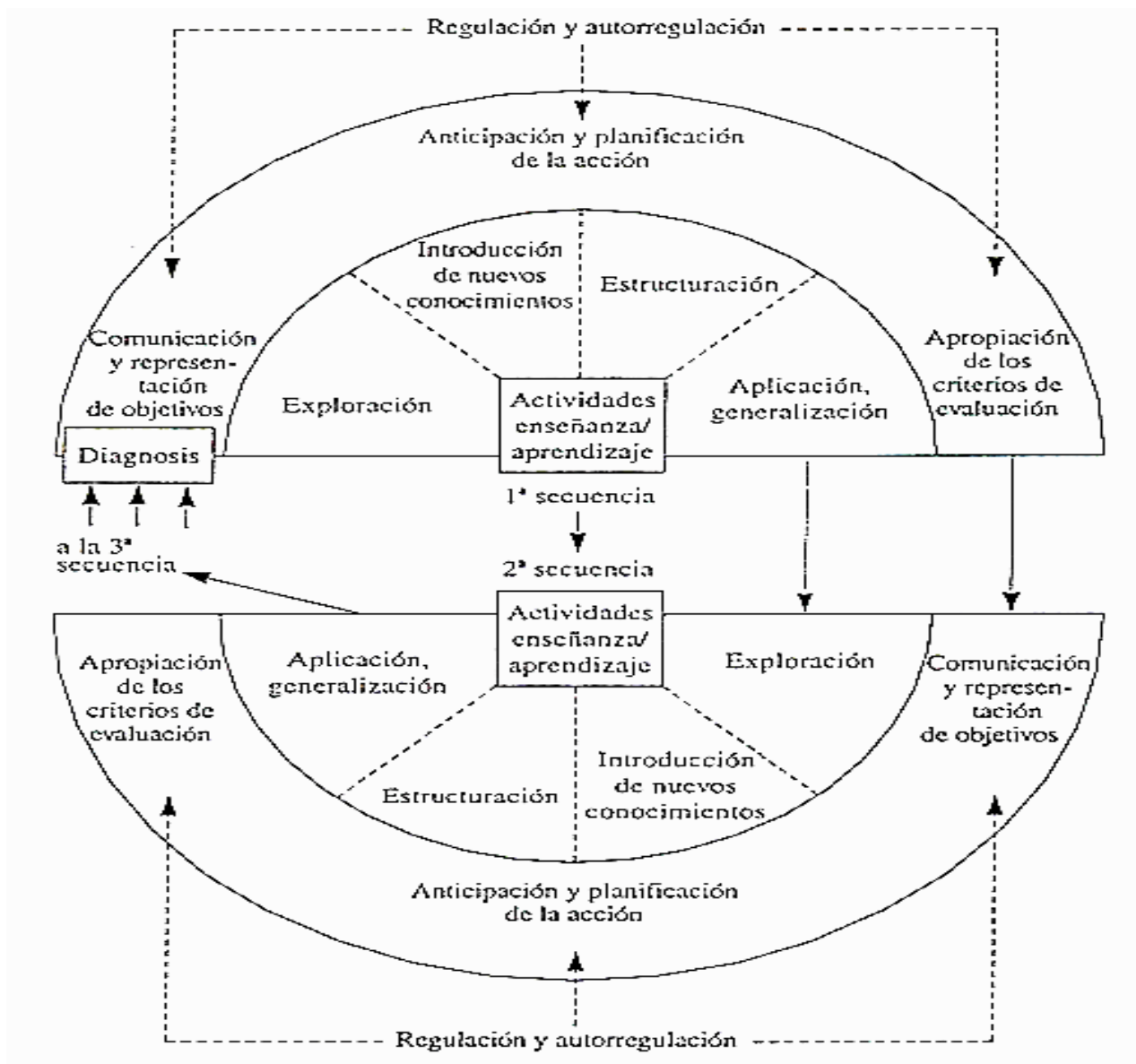


Figura 6.2. Diseño de una unidad didáctica
Fuente: Jorba y Sanmartí, 1993

6.1.3.1. DISEÑO DE LA UD

En la tabla 6.2 se pueden observar las fases del ciclo de aprendizaje, con las actividades de la UD correspondiente a cada fase, los propósitos, los objetivos y los recursos necesarios.

Tabla 6.2. Propuestas de actividades con sus propósitos, objetivos y recursos didácticos según el ciclo de aprendizaje (Jorba y Sanmarti, 1993)

Fase del ciclo de aprendizaje		Actividad N°	Propósito de la actividad	Objetivo de la actividad	Recursos Didácticos
E X P L O R A C I Ó N	Las actividades sitúan al estudiante en la temática objeto de estudio y buscan captar su atención; a la vez que permiten diagnosticar y activar conocimientos previos. En esta fase se desarrollan actividades que contribuyen a que los estudiantes formulen preguntas iniciales e hipótesis desde situaciones, vivencias e intereses cercanos.	1	Detectar ideas previas de los estudiantes sobre colorantes.	Conocer las propias ideas iniciales sobre el tema a estudiar.	Descripción de una actividad experimental Imágenes
		2	Despertar el interés por la temática a estudiar a través de un artículo de significatividad social.	Leer y debatir sobre un artículo de interés. Interpretar y formularse preguntas iniciales de manera individual y luego compartir sus opiniones con su grupo.	Artículo
		3	Estimular el trabajo en equipo y el intercambio de opiniones. Favorecer la escucha y el respeto por las ideas de los demás.	Compartir y conocer opiniones e ideas de los demás compañeros	Aplicación: Mentimeter Celular o computadora
I N T R O D U C C I Ó N D E	Las actividades están orientadas a observar, comparar o relacionar cada parte de lo que captó el estudiante inicialmente, de manera que estos se vean abocados a interactuar con el material de estudio, con sus pares y con el docente, buscando elaborar conceptos más significativos.	4	Estimular la búsqueda y selección crítica de la información a través de distintos medios.	Investigar haciendo uso de fuentes bibliográficas recomendadas.	Libros Material digital Aplicaciones: Padlet/ Celular o computadora
		5	Desarrollar en los estudiantes estrategias de organización y planificación de actividades como el diseño de un experimento. Favorecer el desarrollo de procesos científicos: observación, la emisión de hipótesis, el registro	Planificar. diseñar y poner en común una actividad experimental donde se pueda probar la separación de componentes colorantes del agua.	Material de laboratorio Pizarrón Teléfono celular Aplicación: Padlet

Capítulo 6. Diseño de la propuesta de enseñanza

N U E V O S C O N O C I M I E N T O S			de datos, la interpretación y la comunicación de los resultados.		
		6	Mediar en la construcción de conceptos disciplinares relacionados con los sistemas materiales y la adsorción.	Conocer y comprender el concepto de adsorción.	Pizarrón Modelos didácticos escolares Computadora Cañón
E S T R U C T U R A C I Ó N	Actividades que favorezcan que los estudiantes expliciten lo que van aprendiendo, los cambios en sus puntos de vista, sus conclusiones. Actividades que promuevan la abstracción de las ideas importantes.	7	Ampliar y fortalecer los conocimientos sobre adsorción. Revalorizar a la modelización como un proceso importante para la comprensión del nivel submicroscópico de los fenómenos físicos y químicos implicados en la adsorción.	Identificar el fenómeno de adsorción en la experiencia de laboratorio. Construir modelos concretos para representar los fenómenos implicados en la adsorción a nivel submicroscópico.	Imágenes Modelos realizados por estudiantes y por la docente
		8	Promover la autorregulación del propio proceso de aprendizaje de los estudiantes reflexionando y tomando conciencia del progreso de sus modelos explicativos.	Retomar las ideas iniciales sobre el tema estudiado y reflexionar sobre el progreso de las mismas.	Libros Material digital Actividad de ideas previas

Capítulo 6. Diseño de la propuesta de enseñanza

A P L I C A C I Ó N	Actividades orientadas a transferir las nuevas formas de ver y explicar a nuevas situaciones, más complejas que las iniciales. Para que el aprendizaje sea significativo, se deben ofrecer oportunidades a los estudiantes para aplicar sus concepciones revisadas a situaciones o contextos nuevos y diferentes.	9	Facilitar la comprensión de los posibles usos de la adsorción para la remoción de contaminantes con distintos adsorbentes. Visualizar sus ventajas como el bajo costo. Promover la explicación y argumentación de problemas científicos actuales relacionados con temas ambientales, como la contaminación del agua como parte de la alfabetización de futuros ciudadanos responsables, para tomar decisiones fundamentadas.	Abordar una situación de impacto ambiental con los nuevos conocimientos. Reflexionar sobre la contaminación del agua por sustancias colorantes generadas por la industria pesquera.	Cuaderno Apuntes Aplicación: Padlet Material digital Libros Teléfonos celulares Computadora Cañón
		10	Incentivar la comunicación de la información de manera pertinente y creativa a través de distintos formatos como aplicaciones, softwares en línea, etc.	Construir una infografía para que puedan contar de una manera novedosa lo que aprendieron en esta unidad.	Cuadernos/apuntes Aplicación: Padlet Material digital Teléfonos celulares Computadora/Cañón
		11	Promover la autoevaluación como estrategia de autorregulación de los aprendizajes.	Resolver y reflexionar a partir de una autoevaluación individual.	Cuaderno/Apuntes Pizarrón Teléfono celular Textos Aplicación: Padlet
		12	Estimular el desarrollo de estrategias de monitoreo y reflexión del propio proceso de aprendizaje, para lograr un aprendizaje autónomo.	Reflexionar sobre el desarrollo de las actividades.	Cuaderno Apunte Teléfono celular Aplicación: Padlet

Fuente: Elaboración propia

6.1.4. CRITERIOS DE EVALUACIÓN.

En la construcción de la UD se consideró a la evaluación como parte del proceso de enseñanza y de aprendizaje. En el aula presentaría dos funciones que se integran en la práctica: ajustar, adaptar y regular el proceso de enseñanza (evaluación formativa) y el evaluar para acreditar (evaluación sumativa). La primera, está ligada a la regulación continua de los procesos de enseñanza y aprendizaje; la segunda responde a una demanda social que certifica y legitima los conocimientos curricularmente previstos (Condemarin y Medina, 2000). Establece fundamentalmente lo que la sociedad considera como importante que se aprenda.

Esta doble mirada permite reubicar la evaluación en la enseñanza, quitando la mirada tradicional donde el único objetivo es la acreditación, propia del pensamiento positivista.

Consideramos que el aspecto formativo de la evaluación podría facilitarse con el desarrollo de la capacidad de autorregularse, tanto de parte de los docentes como de parte de los estudiantes. Y esto dependerá en gran medida de cómo se oriente el trabajo en el aula y del entorno de aprendizaje que se construya, por lo tanto de las posibilidades de autorregulación a través de actividades que los docentes planteen en el aula.

Por ello, en esta UD habrán instancias de actividades que promuevan estrategias de autorregulación (Dunlosky et al., 2013) como, la autoevaluación, evaluación mutua, la co-evaluación y la reflexión sobre la evolución de las propias ideas.

6.2. TRANSPOSICIÓN DIDÁCTICA DE LOS CONTENIDOS CONCEPTUALES CENTRALES INVOLUCRADOS EN LA INVESTIGACIÓN SOBRE ADSORCIÓN

Además de los criterios de selección, organización y secuenciación de los contenidos que se explicitaron anteriormente, el diseño de la UD demandó estar en íntima relación con los contenidos disciplinares derivados de la investigación previa desarrollada en el campo de las Ciencias Físicoquímicas.

La transposición didáctica es un proceso en el que un contenido del saber científico que se decide enseñar es transformado adaptativamente para un contexto escolar y se transforma así en un objeto de enseñanza (Mendoza, 2005).

La complejidad de este proceso implicó, por un lado, la contextualización de dichos contenidos disciplinares, la consideración de factores relacionados con los destinatarios y con

la institución (edad, posibles intereses de los estudiantes, programa de la materia, diseño curricular, etc); y, por otro lado, la puesta a punto de las actividades experimentales y el diseño de modelos escolares adecuados para explicar comportamientos de las partículas en procesos de adsorción. Todo esto se desarrollará en este apartado 2.

6.2.1. SOBRE LA PUESTA A PUNTO DE LAS ACTIVIDADES EXPERIMENTALES

Las actividades experimentales de prueba se desarrollaron en el Laboratorio de Físicoquímica de Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Comahue y comprendieron ensayos de adsorción en superficies sólidas con materiales de uso cotidiano o de fácil adquisición para trabajar en la escuela secundaria. Se probaron distintos colorantes como adsorbatos; talco, carbón activado y de restos de carbón común, como adsorbentes. Los resultados de carácter cualitativo de las experiencias con estos materiales pueden observarse en la tabla 6.3.

Tabla 6.3. Resultados del fenómeno de adsorción en superficies sólidas utilizando materiales cotidianos.

Adsorbato	Adsorbente		
	Talco	Carbón activado	Residuo de carbón
Fenolftaleína	+	+	+
Pimentón	-	-	No se probó
Cúrcuma	+	+	No se probó
Colorante vegetal (rojo)	-	-	No se probó
Tinta de marcador a base de agua	+	+	+
Tinta de marcador a base de alcohol	-	-	No se probó
Rojo de fenol	-	-	+
Repollo colorado	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

Entre algunos pares de materiales se dio un proceso de adsorción, aunque no en todos. Esto se debe, tal y como se vio en el capítulo 2, a que la adsorción depende de la naturaleza química del adsorbente y del adsorbato y, por ende, de las propiedades físico-químicas de ambos, así como de las propiedades del medio en el cual la adsorción debe efectuarse. El medio puede intervenir modificando las propiedades físico-químicas del adsorbente (solubilidad, carga superficial, carácter hidrófobo/hidrófilo, etc.), modificando la accesibilidad a los sitios de adsorción por recubrimiento de la superficie externa del adsorbente o introduciendo compuestos susceptibles de entrar en competición con la molécula de interés.

En la figura 6.3 se puede ver el resultado de adsorción de la fenolftaleína, como adsorbato, con un gramo y diez gramos de talco y con un gramo de carbón activado, como adsorbente.

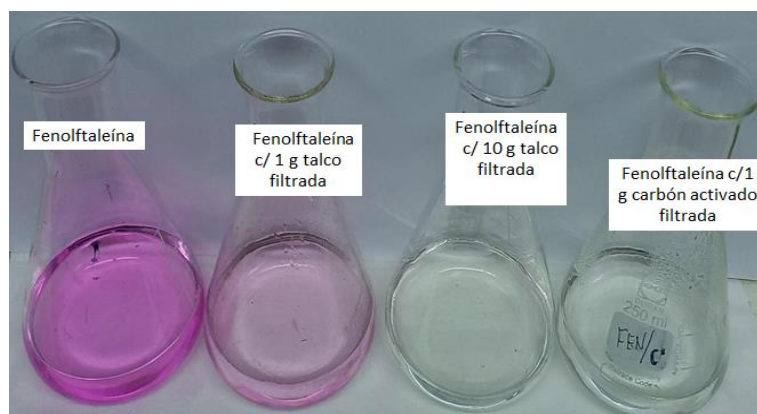


Figura 6.3. Adsorción de fenolftaleína en talco y carbón Activado. Fuente: Imagen propia

Utilizando los mismos adsorbentes, se muestra en la figura 6.4 la adsorción de la cúrcuma como adsorbato. Dado que la filtración del sistema con cúrcuma retenida en talco resultó muy engorrosa, ya que necesita mucho tiempo y los bloques de clase en la escuela secundaria suelen ser de 40 u 80 minutos, esta experiencia se descartó.

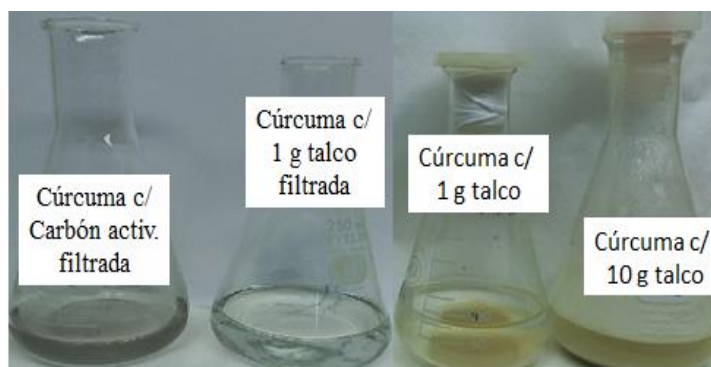


Figura 6.4. Adsorción de cúrcuma en talco y carbón activado Fuente: Imagen propia

En la figura 6.5 se puede ver la adsorción total de la tinta de marcador a base de agua (adsorbato) en talco como adsorbente. Se utilizaron aproximadamente 3 gotas de tinta en 100 ml de agua y se observó que se adsorbió muy bien tanto en 1 gramo como en 10 gramos de talco evidenciándose el resultado del fenómeno de adsorción no sólo en la decoloración del agua sino también en la adquisición de coloración del talco que se mantiene luego de secarlo. Esta observación en estudiantes de los primeros años de secundaria, puede ser particularmente interesante para la construcción y/o evolución del modelo de partículas y del principio de conservación de la materia.

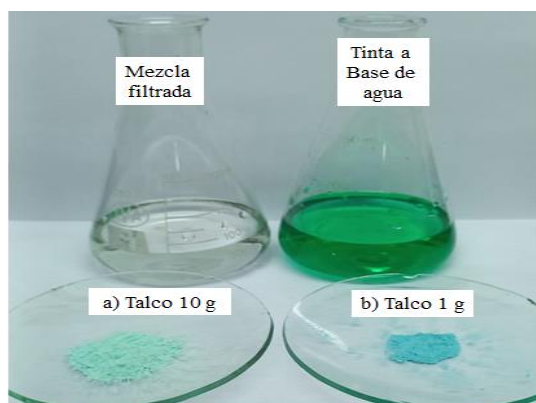


Figura 6.5. Adsorción de tinta a base de agua, como adsorbato, en a) 10 g de talco comercial b) 1 g de talco comercial como adsorbente. Fuente: Imagen propia

La experiencia con tinta a base de agua se realizó también con carbón común obteniéndose buenos resultados tal como se puede apreciar en la figura 6.6. Tanto con 1 gramo como con 10 gramos de carbón puede extraerse la misma cantidad de colorante de tinta azul que en la experiencia anterior. De esta imagen se puede observar que tanto uno, como diez gramos de residuo de carbón arrojan el mismo resultado.

En base a estos resultados, las experiencias probadas son factibles de ser realizadas por los estudiantes en sus hogares.

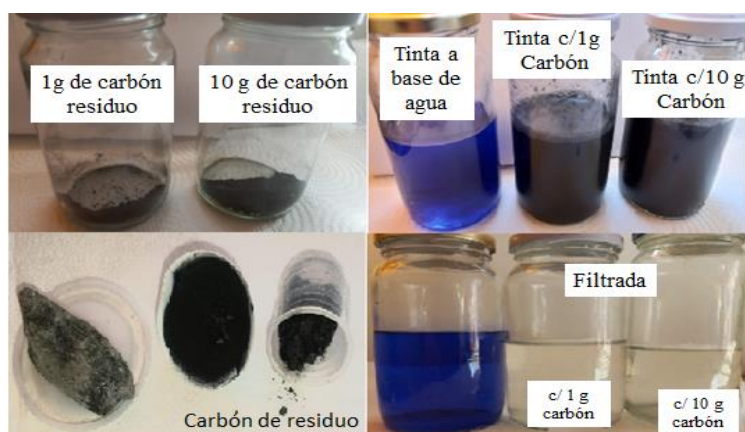


Figura 6.6. Adsorción de tinta a base de agua en residuo de carbón
Fuente: Imagen propia

Teniendo en cuenta todos estos resultados, se seleccionaron para la actividad N°5 de la UD los siguientes materiales de uso cotidiano:

Adsorbatos: marcadores de tinta al agua, entre 3 y 4 gotas para 100 ml de agua.

Adsorbentes: talco comercial y/o carbón común: aproximadamente 1 g.

6.2.2. SOBRE LA MODELIZACIÓN

Para el diseño de esta UD se consideró la importancia de la modelización en Ciencias Naturales para la construcción de conocimientos sobre la composición de la materia y sobre el comportamiento de la materia en fenómenos fisicoquímicos particulares como la disolución o la adsorción.

Si bien hay distintas conceptualizaciones sobre qué es un *modelo*, la idea a la que se adhiere es aquella que lo considera como la representación de un objeto, un fenómeno, o un sistema del mundo real que se desea estudiar, describir o explicar (Adúriz-Bravo, 2012).

Cuando esos modelos son creados, reformulados, generalmente por los docentes con fines de enseñar ciencia, se suelen llamar modelos escolares (Justi, 2006). Estos son importantes porque permiten el acercamiento de los estudiantes a los modelos científicos y la comprensión su naturaleza provisoria, cambiante y limitada (Aragón et al., 2018).

Siguiendo una lógica constructivista, en esta propuesta se trata de promover el aumento en el grado de complejidad y de abstracción de los modelos o representaciones iniciales de los estudiantes (Figura 6.7) que se explicitarán en las actividades de inicio. Para ello se les propone de manera permanente representar con modelo de partículas cómo se imaginan que estas se comportan en determinados fenómenos de interacciones de la materia y la construcción de modelos con materiales cotidianos.

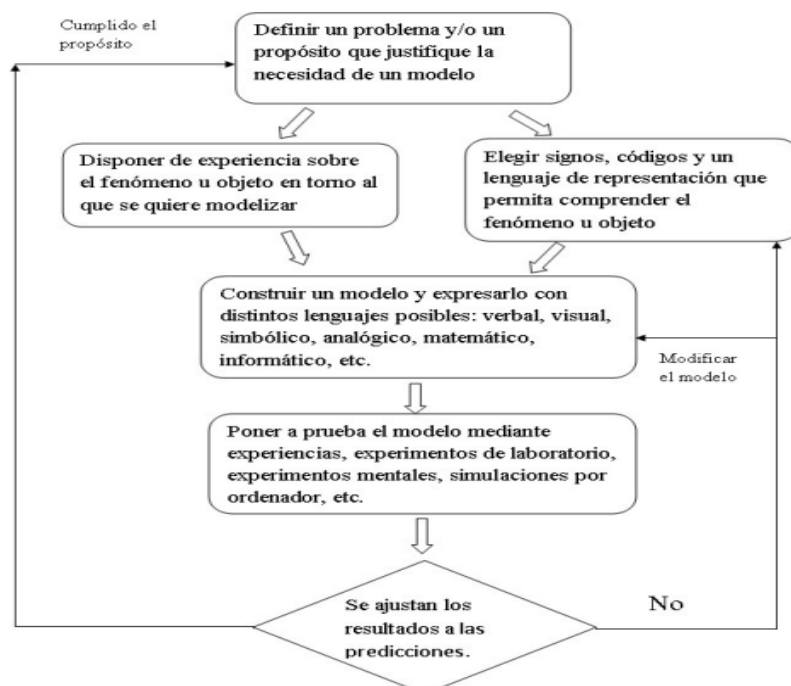


Figura 6.7. Adaptación del ciclo de modelización de autores como Justi y Gilbert, 2002 y Prins, 2010. Fuente: Aragón et al., 2018

La figura 6.8.a muestra un modelo escolar (Justi, 2006) del fenómeno de adsorción. Y en la figura 6.8.b se presenta una descripción del fenómeno de adsorción en superficies sólidas. Donde se puede apreciar como las partículas (adsorbato) se adhieren a la superficie del sólido (adsorbente).

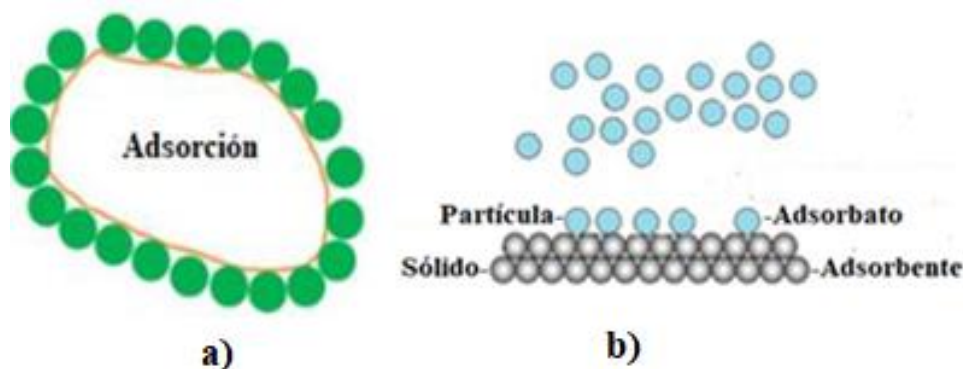


Figura 6.8. a) *Modelo escolar del fenómeno de adsorción.* b) *Descripción del fenómeno de adsorción*
 Fuente: a) Carbonotecnia.info b) apunte de Química Física avanzada, Universidad de Valencia. Tema 7.
 Superficies sólidas: adsorción y catálisis heterogénea.

La figura 6.9 muestra modelos análogos concretos de creación propia contruidos en impresión 3D. Donde se puede apreciar en la figura a que las esferas representarían a los átomos de adsorbato, la base de color negro representaría el sólido, adsorbente. En la figura b también las esferas representarían a los átomos de adsorbato y el sólido de base negra, el adsorbente. Además cada “palito” representaría la fuerza de atracción entre adsorbato-adsorbente.



Figura 6.9. *Modelos análogos concretos del fenómeno de adsorción en superficies sólidas.*
 a) *Las esferas representan el adsorbato y la base de color negro el sólido (adsorbente).* b) *Las esferas representan el adsorbato, la base de color negro el sólido (adsorbente) y cada palito representaría la fuerza de atracción entre adsorbato-adsorbente.*
 Fuente: Imagen propia

6.3. UNIDAD DIDÁCTICA

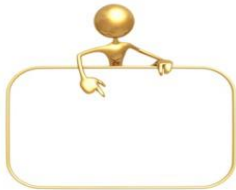
Colores de moda, una tendencia que va más allá de la próxima temporada...



Hola mi nombre es Natalia y te voy a acompañar en este recorrido por el estudio de Colores de moda... Descubriremos juntos que va más allá de la próxima temporada.



Referencia de iconos:



Actividades



Actividad de laboratorio



Actividad debate



Teoría



Uso de aplicaciones



¡A pensar!



Link



Encuesta



Consulta

El objetivo de la actividad N° 1 es que conozcas tus propias ideas sobre el tema que abordaremos en esta unidad.

**Actividad:
N°1**

Armar grupos de 4 Compañeros/as. Leer las consignas atentamente, compartir sus opiniones y luego responder en función de lo que piensan.



- 1.1.** En una experiencia se agregó colorante de torta a un frasco con agua, se mezcló todo hasta que el colorante se disolvió en el agua (figura 1.a). Luego se colocó un trozo de tela de algodón blanca, tal como se puede apreciar en la figura 1.b. Después de un tiempo la tela se sacó y se colocó en una superficie, como se muestra en la figura 1.c. ¿Qué le sucedió a la tela? ¿Por qué creen que sucedió eso? Explicar con sus palabras.

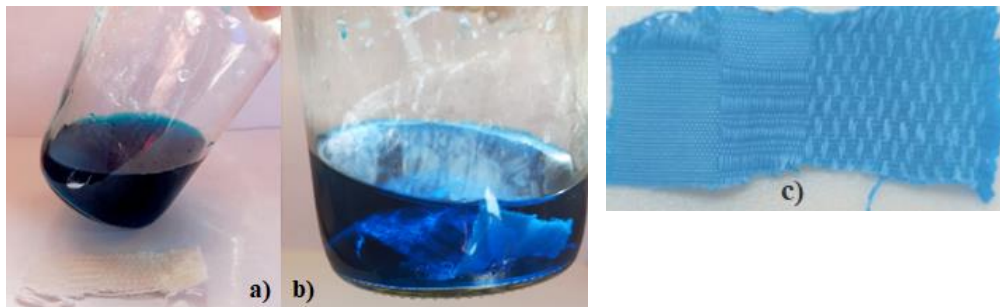
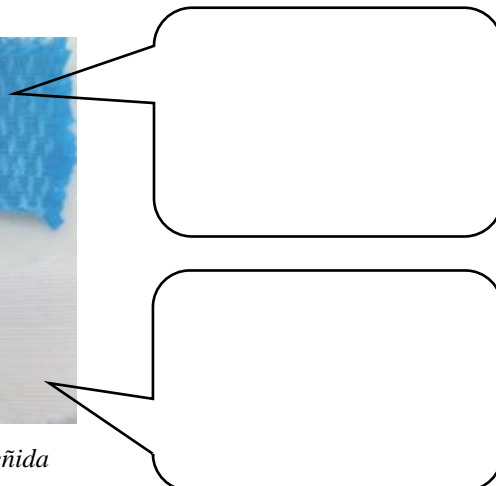


Figura 1. Descripción de la experiencia 1

- 1.2.** Si pudiéramos hacerle un zoom (como si fuera un microscopio) a la tela antes y después de sumergirla en el agua coloreada ¿Cómo creen que se vería? Realizar un esquema o dibujo.



Figura 2. Tela blanca vs. tela teñida



- 1.3. Cuando se repitió la experiencia anterior, pero con un trozo de tela de cinta de bebé, color amarillo, tal como se puede apreciar en la figura 3 en los incisos a y b, la misma quedó como se muestra en la figura 3 inciso c. ¿Qué es lo que sucedió ahora? ¿Por qué creen que sucedió eso? Explicar con sus palabras. Si pudiéramos hacerle un zoom (como si fuera un microscopio) a la tela después de sumergirla en el agua coloreada (figura 3 inciso c) ¿Cómo creen que se vería? Realizar un esquema o dibujo.

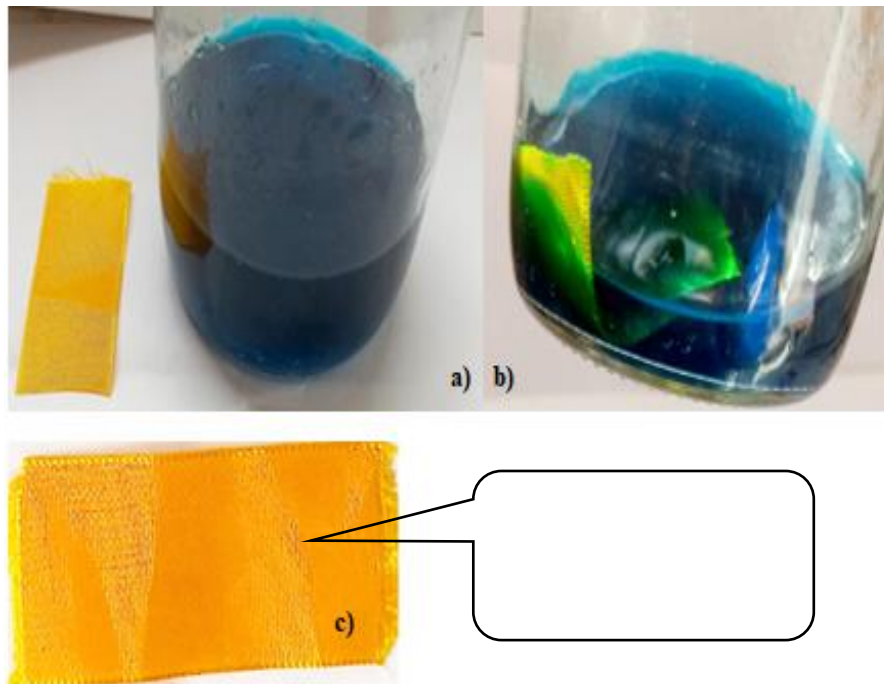


Figura 3. Descripción de la experiencia 2

- 1.4. Leer el siguiente texto sobre el uso de colorantes en el tiempo extraído del artículo: “Presente y futuro de los colorantes naturales”, por Roquero y Martínez, 2010.

Uso de colorantes a través del tiempo

“...El uso de colorantes y tintes en la vida del hombre a nivel global, ha tenido mucha importancia, pues ha formado parte de la misma evolución de las culturas. Desde tiempos inmemoriales, se tiene la información de su uso en el arte rupestre (figura 4), que en forma gráfica manifiesta los diferentes escenarios de la vida diaria del



hombre primitivo, que abarca su cosmovisión del mundo y sus intentos de explicar los fenómenos que le acontecían en su constante relación con su entorno, por cierto, hostil y misterioso.

El ser humano se ha encargado de pintar todo lo que le rodea, se maravillaba tiñendo ropa, pintando pieles, regalando diferentes tonos a objetos religiosos y adornos en general.



Figura 4. Arte rupestre en la Patagonia a) Cueva de las Manos, provincia de Santa Cruz, Argentina. Foto: David Wood b) Colo michi có, provincia de Neuquén, Argentina. Foto: Angel Valdez
Fuente: <https://intrioper.com/lectura/los-6-mejores-sitios-de-arte-rupestre-de-argentina/>

Los primeros vestigios arqueológicos en Europa han demostrado que, ya en el Neolítico (7000 – 2000 a.C.), el ser humano utilizaba colorantes para teñir su vestimenta. Así, existen fuentes escritas e iconográficas (figura 5) que demuestran claramente la industria incipiente de la tintorería en todas las culturas clásicas en Asia y Europa. También se puede apreciar el uso temprano de colorantes en las momias egipcias, las mismas fueron encontradas envueltas en telas teñidas (Bafana, 2011; Yusuf, 2019).



Figura 5. a) Tablilla cuneiforme (625 – 539 a.C.) sobre una receta para teñir añil b) Fresco encontrado en las ruinas de Pompeya que muestran tareas cotidianas en una tintorería
Fuente: Roquero, A. y Martínez, F. M. (2010)

La tecnología de los tintes en América Latina, se inició según Roquero (1995), hace más de 2000 años en base a los testimonios materiales mostrados en los tejidos de las culturas pre hispánicas del Perú como la Paracas... ”

¿Cómo creen que obtienen los colorantes los pueblos originarios de nuestra región?

El objetivo de la actividad N°2 es reflexionar sobre las consecuencias que se producen por el uso de sustancias colorantes en la fabricación de ropa.



Leer atentamente el siguiente artículo de manera individual: “Colores de moda, una tendencia que va más allá de la próxima temporada”. Luego, compartir las opiniones.



Colores de moda, una tendencia que va más allá de la próxima temporada

En nuestra sociedad actual, es habitual que algunas personas tengan en su armario ropa de temporada que van actualizando, prendas que utilizarán solo un par de años y luego desecharán. En general, todos sabemos que esto tiene un impacto sobre el medio ambiente, pero ¿sabemos realmente cuál es ese impacto?



La industria textil es la actividad económica dedicada a la manufactura de hilos, fibras, telas y otros materiales para obtener productos derivados como la ropa.

Según un estudio realizado por la Universidad Politécnica de Madrid, junto a la Fundación Botín, para la producción de un pantalón vaquero son necesarios entre 2.000 y 3.000 litros de agua. Otro dato, es que una persona bebe entre 3 y 4 litros de agua diarios, o al menos eso debería. Esto implica que un único vaquero consume el agua que beberíamos durante más de dos años. Si hiciéramos la misma cuenta del agua necesaria considerando la producción de la ropa que hay en nuestro armario completo, los números se disparan.

Entonces, la industria textil tiene como principales impactos ambientales el alto consumo del agua y la producción de aguas residuales con alta carga contaminante como colorantes, surfactantes, sales inorgánicas y otros compuestos químicos que se generan en las distintas etapas.



Figura 6. Descarga de sustancias colorantes

Fuente: <https://synovance.com/textile-dyes/our-mission/>

<https://chavezolutions.com/noticias-ambientales/el-impacto-del-sector-textil-y-sus-residuos-en-el-medio-ambiente/>

Entre los contaminantes se destacan los colorantes, dado que durante el proceso de teñido entre el 15 y el 50% del colorante usado queda como sustancia que no es fijada al tejido (Gallego y Rubio, 2021). Estos compuestos artificiales, no son biodegradables, son altamente resistentes; y, por lo tanto, difíciles de eliminar en las plantas de tratamiento convencionales. Según datos de la ONU, la industria textil es la responsable del 20% del agua contaminada del mundo.

Actualmente, compramos 4 veces más ropa que en la década de los 90, por lo que todos los problemas derivados de la industria textil se han magnificado (datos aportados por Ecoembes, 2023).

Suponiendo que para teñir una determinada cantidad de jeans se utilizaron 500 gramos de colorante azul y que el 30 % de esa cantidad no se queda adherida al jean ¿Cuánto colorante azul quedó en el agua?

La información trabajada nos lleva a pensar y reflexionar sobre “¿Realmente necesito comprar esta prenda? “o “¿Qué impacto conlleva el consumismo de ropa?”

Fuente adaptación:

<https://www.iagua.es/blogs/laura-bachiller-soria/impacto-industria-textil-agua-1>

<https://agua.org.mx/actualidad/impacto-ambiental-de-la-industria-de-la-moda/>

<https://agua.org.mx/actualidad/nuestra-ropa-tambien-consume-agua-y-la-contamina/>



Capítulo 6. Diseño de la propuesta de enseñanza

<https://www.redmagisterial.com/med/32885-la-moda-mas-alla-de-la-proxima-temporada/>

<https://amhigo.com/amhi-blog/70-expertos/1255-efectos-al-ambiente-y-a-tu-salud-de-la-industria-textil>

<https://ecoembesdudasreciclaje.es/rios-tinta-las-huellas-la-industria-textil/>

Ecoembes es una organización medio ambiental sin ánimo de lucro que promueve la economía circular a través del reciclaje de los envases en España. **¿Conoces alguna organización que promueva acciones similares dónde vives?**



El objetivo de la actividad N°3 es compartir ideas y conocer lo que piensan los otros grupos. Hacer una puesta en común.



**Actividad:
N°3**

Pensando en todo lo trabajado, cada grupo va a seleccionar 6 palabras claves que representen lo que hemos visto hasta acá. Luego, escriban esas palabras en la aplicación **Mentimeter**.

Accedan por el celular mediante el siguiente enlace:

 <https://www.mentimeter.com/es-ES> ingresando con el código: 1260782

De esta manera se construirá una nube entre todos con la idea más representativa del curso.



¿Qué es Mentimeter?



Mentimeter es una aplicación web para interactuar y hacer participar a una audiencia. La aplicación permite lanzar diferentes formatos ya sea por encuestas en vivo, cuestionarios, nubes de palabras, preguntas y respuestas independientemente de la distancia. Los participantes responden mediante los teléfonos móviles, tablets o pc's y finalmente los resultados se pueden ver en la pantalla en tiempo real.

El objetivo de la actividad N°4 es buscar información sobre colorantes en fuentes bibliográficas recomendadas.

**Actividad:
N°4**

Formar grupos de 4 compañeros/as e investigar de distintas fuentes para responder las siguientes preguntas :

4.1. Hay varias maneras de clasificar a los colorantes. Una es en base a su origen. Busca información sobre los siguientes colorantes y luego ubícalos en el cuadro: Azafrán, violeta de alizarina, Amaranto, cúrcuma, Carmin, Azorrubina.



Natural	Artificial	¿Para qué se usa?

4.2. Lee el siguiente texto:

El agua es el líquido más abundante del planeta y se conoce como el solvente universal porque está en la mayoría de los sistemas líquidos y en todos los seres vivos, que sin ella no podrían existir. La vida se originó en los mares de nuestro planeta.

“La contaminación del agua o contaminación hídrica tiene lugar cuando en los cuerpos de agua naturales (lagos, ríos, mares, etc.) tienen presencia diversos tipos de sustancias químicas ajenas a su composición original, que modifican sus propiedades haciéndola insalubre, dañina para la vida, y por lo tanto inútil para la pesca, agricultura, recreación y consumo humano.”

Si se descargan sustancias colorantes, a un cuerpo de agua como por ejemplo un río o lago, tal como se muestra en la figura 7 ¿Cuáles creen que podrían ser las consecuencias?



Figura 7. Descarga de sustancias colorantes

Fuente: <https://www.iagua.es/blogs/laura-bachiller-soria/impacto-industria-textil-agua-1>

Los colorantes producen contaminación del agua porque impiden la llegada de la luz solar y esto afecta la vida de plantas y peces. Además, muchos colorantes son tóxicos. Sin embargo, es importante saber que el hecho de que el agua tenga turbidez, no significa que está contaminada. También es importante saber que el hecho de que un agua sea cristalina e incolora, no implica que sea potable o que se pueda utilizar con fines recreativos, riego, etc.

Capítulo 6. Diseño de la propuesta de enseñanza

4.3. Busca algún artículo periodístico que de cuenta de algún hecho de contaminación del agua por sustancias colorantes. Ubica la/s zona/s afectada/s en un mapa.

4.4. Comparte una reflexión de estas actividades en el Muro de Química, acceder a través del siguiente link:

 https://padlet.com/nati_ribero/muro-de-qu-mica-a9nu0ds0gp9oczn



¿Qué es el Muro de Química?

El Muro de Química, es una aplicación de Padlet, donde se van a compartir las actividades elaboradas, dentro del mismo se encuentra un video que explica cómo se usa. Para los que hicieron la red con Mindomo les dejo un link que explica como subir al Muro:

<https://www.youtube.com/watch?v=mRMGdA>



4.5. Piensen en los residuos que generan en casa y en la escuela ¿Se arrojan sustancias colorantes a los desagües? ¿Cuáles?

4.6. Puesta en común en clase sobre los colorantes y correcciones en el pizarrón.

El objetivo de la actividad N°5 es eliminar colorantes del agua a través de un método llamado “adsorción”.



**Actividad:
N°5**

¡A experimentar con colorantes!

En esta actividad de laboratorio aplicarán un método no convencional para separar contaminantes coloreados del agua. A continuación se detalla los materiales, reactivos y el procedimiento para desarrollar dicha experiencia en grupos de 5 estudiantes.

Materiales y reactivos por grupo:

Materiales	Cantidad
Vaso de precipitado	1
Varilla de vidrio	1
Balanza digital de precisión $\pm 0,1$ g	
Probeta de 100 ml	1
Erlenmeyer con tapón	3
Erlenmeyer	3
Cucharita	2
Soporte universal	3
Aro de metal para embudo	3
Embudo	3
Papel de filtro	
Cronómetro	1
Vidrio de reloj	2
Celular o cámara de fotos	1
Cuaderno de registro, lápiz y la guía de trabajo	

Reactivos	Cantidad
Agua destilada o filtrada	300 ml
Tinta a base de agua (Marcador color a elección)	1
Talco comercial	1 g
Carbón (resto de carbón que se usó para cocinar el asado)	1 g

Procedimiento:

- Colocar 400 ml de agua destilada en el vaso de precipitado de 500 ml.
- Agregar gotas de tinta de marcador y mezclar con la varilla de vidrio hasta que tome la coloración.
- Rotular tres Erlenmeyer con tapón (1, 2 y 3) y colocar en cada Erlenmeyer 100 mL de la mezcla.

¿Cómo continuarían el procedimiento para ver si el talco y el carbón pueden retener y quitar el colorante del agua? Escriban los pasos que seguirían.

Luego, comparen con el que se encuentra en este código QR:



Mientras los Erlenmeyer se encuentran en reposo completar de manera grupal el siguiente cuadro:

Con respecto a la mezcla en el vaso de precipitado	
¿Qué tipo de mezcla se formó? ¿Homogénea o heterogénea? ¿Por qué?	
¿Cuántos componentes tiene la mezcla?	




¡A pensar! Luego de realizar las experiencias responder en grupo:

- 1) Describan lo que observaron. ¿Se logró separar los componentes de la mezcla? ¿En todos los casos?
- 2) ¿Qué método de separación utilizaron en esta experiencia?
- 3) Puesta en común en clase.
- 4) Escriban un texto donde incluyan reflexiones sobre ¿Qué aprendieron a través de esta experiencia? ¿Qué relación encuentran entre esta experiencia y los textos leídos sobre contaminación del agua?



Compartir en el Muro de Química colocando el número de grupo asignado:

 https://padlet.com/nati_ribero/muro-de-qu-mica-a9nu0ds0gp9oczvn

El objetivo de la actividad N°6 es conocer el concepto de adsorción.



¿Qué es la adsorción? ¿Cuándo ocurre?



Acercándonos al fenómeno superficial de adsorción



A continuación se presentan dos definiciones de adsorción:

- 1) La adsorción es un proceso por el cual las partículas de un material (adsorbato) se adhieren en la superficie de otro material (adsorbente) mediante fuerzas de atracción.

- 2) Cuando una partícula de un fluido (gas o líquido) golpea una superficie sólida, puede rebotar o quedar fija sobre la superficie, es decir, que ocurra una **adsorción**.

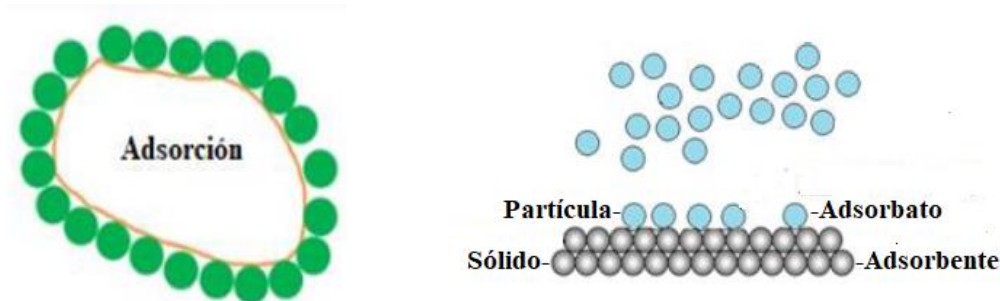


Figura 8. Esquema del fenómeno de adsorción

La adsorción depende de la naturaleza y de la estructura del adsorbente, de las propiedades físico-químicas del adsorbato y del medio en el cual la adsorción debe efectuarse. El medio puede intervenir modificando las propiedades físico-químicas del adsorbente (solubilidad, etc.), modificando la adherencia de las partículas del sólido.

El objetivo de la actividad N°7 es identificar el fenómeno de adsorción en la experiencia de laboratorio y comparar los esquemas realizados.

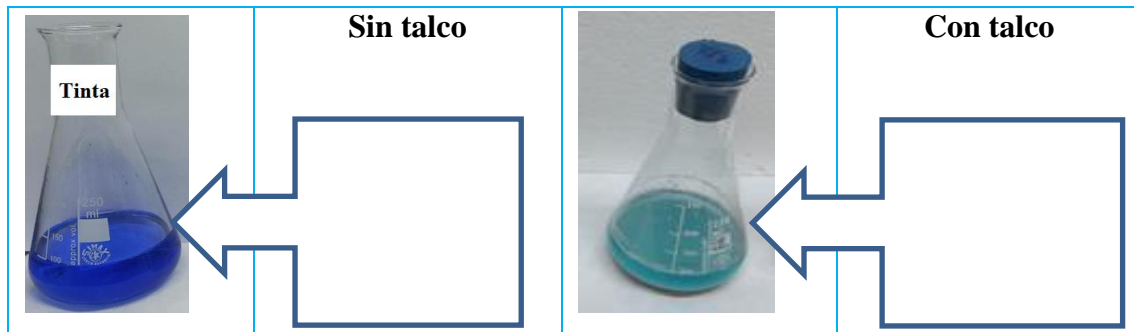
Actividad:
N°7

Responder con tu grupo de trabajo las siguientes preguntas:

7.1. De la actividad de laboratorio realizada, ¿Cómo podrían explicar lo que sucedió en el erlemeyer antes y después de agregar el talco? Utilicen los siguientes conceptos: *adsorbente* - *partículas* - *sólido* - *adsorbato* - *fuerzas de atracción* - y los conectores necesarios.

7.2. Representar en el siguiente cuadro con un modelo de partículas el antes y el después de cada experiencia.





7.3. ¿Cómo podrían representarlo con materiales comunes? Discutir qué materiales pueden traer la próxima clase para representar con una maqueta lo que ocurrió con las partículas durante la adsorción de los colorantes en el talco y en el carbón.

7.4. Puesta en común en clase. Comparar las maquetas construidas con otros grupos y con la del docente. Compartir en el Muro de la química:

 https://padlet.com/nati_ribero/muro-de-qu-mica-a9nu0ds0gp9oczvn

El objetivo de la actividad N°8 es que puedas reflexionar sobre el progreso de tus ideas.



Retomar la actividad N° 1 y rehacer, luego escriban en qué cambiaron sus ideas.



RECUERDA: SOBRE CUALQUIER INQUIETUD QUE TENGAS

¡NO DUDES EN CONSULTAR!



El objetivo de la actividad N° 9 es reflexionar sobre la contaminación del agua por sustancias colorantes generadas por la industria pesquera. Además poder aplicar lo aprendido en esta unidad.



¿Es posible eliminar del agua, contaminantes de distinta naturaleza, por el fenómeno de adsorción en superficies sólidas?



9.1. Lee el siguiente texto:

Existen varias industrias como las curtiembres que consumen grandes cantidades de agua, generando importantes volúmenes de efluentes con una gran cantidad de agentes contaminantes. Algunos de estos contaminantes pueden ser compuestos orgánicos sintéticos (como colorantes) y ácidos orgánicos. Uno de estos ácidos es el ácido acético, que además de provenir directamente de los efluentes de las industrias, también es generado a partir de compuestos orgánicos en el ambiente.

El fenómeno de adsorción en superficies sólidas resulta una alternativa interesante para la remoción de contaminantes, dado a que tiene un amplio espectro de materiales que pueden ser empleados como adsorbentes. El carbón activado es el adsorbente más utilizado en la industria, dado a su bajo costo y a que la mayoría de sus propiedades químicas y físicas se pueden ajustar de acuerdo con lo que se necesite. También hay adsorbentes de bajo costo poco estudiados y con gran potencial, tales como los desechos agroindustriales y dentro de los minerales de aplicación industrial, el talco.

Estudios³ indican que es posible remover contaminantes a través de la adsorción en superficies sólidas. A continuación se presentan algunos ejemplos:

- Adsorción de ácido acético (adsorbato) en carbón activado como adsorbente.
- Adsorción de ácido acético (adsorbato) en ceniza de bagazo de caña de azúcar como adsorbente.
- Adsorción del colorante azul de metileno (adsorbato) sobre talco como adsorbente.
- Adsorción de antibióticos (adsorbato) sobre arcillas (adsorbente).
- Adsorción de metales (adsorbato) sobre materiales biológicos (adsorbente).

³ Aksu, Z. (2005); Forgacs et al., 2004; Carmona et al., 2005; Deng et al., 2011; Hernandez et al., 2007; García et al., 2017; Velandia, C. (2013). Castellar, G. (2013). Zaupa et al., 2016; Yanquin, K. C. (2019); Tejada et al., 2014.

9.2. Una noticia del diario Perfil inicia así:

“El agua de una laguna en la provincia de Chubut, en la Patagonia Argentina, se volvió de



Figura 11. Laguna Corfo teñida de rosa.
Imagen: Daniel Feldman/AFP/Getty Images

color rosa fuerte, generando inquietud entre los ambientalistas que sospechan que sea consecuencia de efluentes de la industria pesquera.

La laguna se ubica cerca del parque industrial de Trelew, en el este de Chubut. El responsable de Regulación y Control Ambiental de la provincial, Juan Micheloud, dijo, según el diario local Jornada, que -“*hay un acuerdo con empresas de*

Rawson (Capital provincial) para volcar líquidos en la laguna de Corfo”- y señaló que el color no provoca daño.

Sin embargo, los activistas ambientalistas muestran preocupación por las consecuencias de los desechos en las aguas de la laguna.”



En grupo redactar una breve explicación con respecto a:

- a. ¿Cómo harían, utilizando los conceptos vistos sobre adsorción, para quitar el color del agua?
- b. En caso de no quitar el color del agua ¿Cuáles podrían ser las consecuencias?

El objetivo de la actividad N°10 es construir una infografía para que puedan contar de una manera novedosa lo que aprendieron en esta unidad.



¿Qué aprendiste?

Para responder a dicha pregunta los invito a construir de manera grupal una infografía.

¿Qué es una infografía?





Es una forma visual para ofrecer información, con una presentación esquemática a través de viñetas, gráficos, imágenes, videos, etc...

En este caso van a contar lo que aprendieron de una manera novedosa.

Les dejo un link con algunas recomendaciones a tener en cuenta para la construcción de la misma:

 <https://www.youtube.com/watch?v=ERsVprw030k>



¿Qué aplicaciones se pueden usar?

Para realizar la infografía pueden utilizar una aplicación que ya conozcan o seleccionar alguna de las que les sugiero a continuación:

Uso de Canva:

<https://www.youtube.com/watch?v=3VMcmLXb-oY>

<https://www.youtube.com/watch?v=8kYML7xEm7c>



Uso de infografía interactiva Genially:

<https://www.youtube.com/watch?v=ZNXki7Ng0Ag>

<https://www.youtube.com/watch?v=d5YsUF6tUvQ&t=4s>



Una vez construida la infografía:

- Compartir en nuestro Muro de Química para que todos puedan apreciar y comparar sus producciones:



https://padlet.com/nati_ribero/muro-de-qu-mica-a9nu0ds0gp9oczn

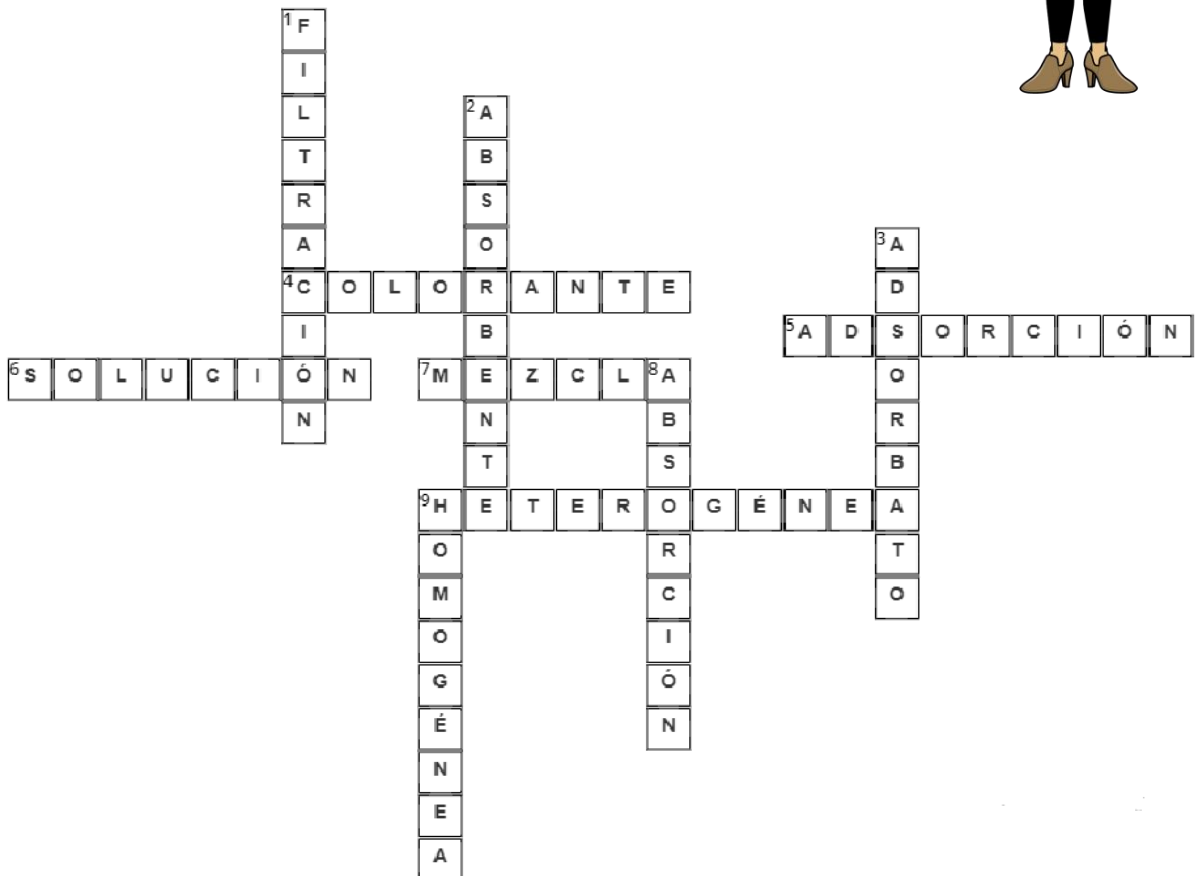
- De todas las infografías realizadas deberán seleccionar o re construir una entre todos en la clase, para poder compartir en la página de la escuela.

El objetivo de la actividad N°11 es Autoevaluarte sobre lo estudiado.



**Actividad:
N°11**

Dado el siguiente crucigrama completar las referencias horizontales y verticales con tus palabras, luego comparar con la teoría.



El objetivo de esta última actividad N° 12 es reflexionar sobre el desarrollo de las actividades.



**Actividad:
N°12**

Responder de manera individual las siguientes preguntas:

Con respecto a las actividades realizadas:

- a) ¿Qué actividades te gustaron más? ¿Por qué?
- b) ¿Qué actividad/es te costó/aron resolver? ¿Por qué crees que te resultó más difícil eso?



- c) ¿Qué actividad te gustaría agregar?
- d) Piensa en todo tu recorrido por esta unidad y lo que has aprendido. ¿Qué cosas harías diferente durante la próxima? ¿Por qué?

Con respecto a las aplicaciones propuestas (Mentimeter, Mindomo, Muro, Canva o Genially):

- e) ¿Qué aplicación te gustó más? ¿por qué?
- f) ¿Qué aplicación te costó utilizar? ¿Por qué?
- g) ¿Te ayudaron los links para aprender? Explicar.
- h) ¿Qué aplicación que consideras que te ayuda a aprender agregarías?

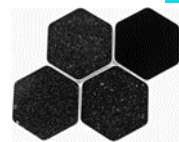
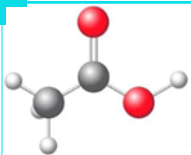
*“La educación no cambia el mundo;
Cambia a las personas que van a cambiar
el mundo.”*

Paulo Freire

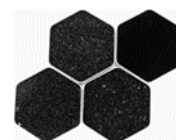
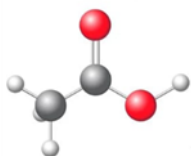


6.4. REFLEXIONES SOBRE EL DISEÑO DE LA PROPUESTA DE ENSEÑANZA

- La propuesta de enseñanza se diseñó a partir de la necesidad de romper viejos paradigmas de enseñanza tradicional, para trascender hacia procesos de aprendizajes significativos donde se favorezca en los estudiantes la comprensión de conceptos de Fsicoquímica, facilitándoles las herramientas necesarias para que tengan una lectura autónoma, reflexiva y crítica. En este sentido, considero que los procesos de enseñanza y aprendizaje debieran convertirse en experiencias contextualizadas, donde las y los docentes, a través de metodologías activas, dinámicas e innovadoras, posibiliten una formación integral de sus estudiantes con la firme convicción de potenciar que sean activos, críticos y transformadores de su propia realidad. Esto conlleva a un gran desafío para los docentes y nos invita a reflexionar constantemente sobre el proceso de enseñanza y aprendizaje.
- Esta propuesta no debe ser considerada como una receta de trabajo, sino como una propuesta de intervención en el aula, que considera aspectos según las necesidades y motivaciones de los estudiantes como el contexto sociocultural, su entorno ambiental y sus intereses.
- Se dejará la Unidad didáctica disponible invitando a los docentes a ponerla en práctica. Para de esta manera, compartir resultados, opiniones y sugerencias, que puedan enriquecerla.
- Se espera que este material facilite la tarea de trabajar dentro del ámbito de enseñanza formal e informal y motive en un tema tan importante para el futuro de nuestro planeta como es el estudio y el cuidado del agua, entendida como un derecho de todos.
- En esta etapa final de la carrera del Profesorado en Química, el diseño de una propuesta de enseñanza derivada de una investigación disciplinar, representó, una experiencia desafiante y enriquecedora. Además resultó gratificante y significativo para mi profesión haber podido integrar los conocimientos construidos a lo largo de la formación y plasmarlos en una unidad didáctica concreta para ser aplicada en el aula.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adúriz-Bravo, A. (2012). Algunas características clave de los modelos científicos relevantes para la educación química. *Educación Química*, 23, 1-9. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(17\)30151-9](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(17)30151-9)

Aksu, Z. (2005). Application of biosorption for the removal of organic: a review. *Process Biochem*, 40(3-4), 997-1026.

Aragón, L., Jiménez-Tenorio, N., Oliva-Martínez, J. M., y Aragón-Méndez, M. M. (2018). La modelización en la enseñanza de las ciencias: criterios de demarcación y estudio de cas. *Revista Científica*, 32(2), 193-206. <https://doi.org/10.14483/23448350.12972>

Atkins, P.W. (1991). *Fisicoquímica*. Addison-Wesley Iberoamericana.

Bertini, L.M. y Cicerone, D.S. (2009). Gestión de Residuos Generados en Laboratorios de Enseñanza de Química en Entidades Universitarias con Participación Activa del Alumnado. Fomento e Innovación con nuevas tecnologías en la Docencia de la Ingeniería. Buenos Aires. <https://www.researchgate.net/publication/234027099>

Blanco, G. y Valcárcel, M.V. (1993). Diseño de unidades didácticas en el área de Ciencias Experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (1), 33-44. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/39774>

Bohórquez, D. J. (2014). *Estrategia didáctica relacionada con la biosorción de colorantes orgánicos presentes en humedales artificiales sobre botoncillo de agua (Bidens laevis) para favorecer actitudes hacia las ciencias*. Facultad de Ciencia y Tecnología. Universidad Pedagógica Nacional de Bogotá.

Campanário, J. M. y Otero, J. C. (2000). Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: Las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 2, 155-169.

Canciani, M.L. y Telias, A. (2022). Educación Ambiental Integral: Reflexiones teóricas para la construcción de un currículum complejo. *Revista Argentina de Investigación Educativa*, II (4), 135-149.

Carmona, M., & Pereira da Silva, M., & Ferreira Leiteb, S. (2005). Biosorption of chromium using factorial experimental design. *Process Biochem*, 40, 779-788.

Carvajal, A.M. (2018). Estudio de la adsorción de 4-nitrofenol desde solución acuosa sobre un carbón activado con heteroátomos nitrogenados en la superficie. Aplicación del modelo de Sips. *Colombiana de Química*, 47(1), 27. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v47n1.64561>

Castellán, G.W. (1998). *Fisicoquímica*. Addison-Wesley Iberoamericana.

Castellar, G., Angulo, E., Zambrano, A. y Charris, D. (2013). Equilibrio de adsorción del colorante azul de metileno sobre carbón activado. *U.D.C.A Act. & Div. Cient.*, 16(1), 263-271.

Chen, X. (2015). Modeling of Experimental Adsorption Isotherm Data. *Information*, 6(1), 14–22. <https://doi.org/10.3390/info6010014>

Chevallard, Y. (1985). La transposición didáctica. Del saber sabido al Saber enseñado. 1 Ed. Buenos Aires, Aique.

Claret Z., A. (2005). La imagen de la ciencia y de científico en la formación de profesores de ciencia. *Revista TEA (Tecne, Episteme y Didaxis)*, N° extra, 57-69.

Coll, C., Pozo, J. I., Sarabia, B. y Valls, E. (1992). Los contenidos en la Reforma. Madrid. Aula XXI/Santillana.

Condemarín, M. y Medina, A. (2000). *Evaluación de los aprendizajes*. MINEDUC. Ministerio de Educación, Republica de Chile.

Correa, F., Gómez, J. y Martínez, J. (2010). *Síntesis y caracterización de materiales inorgánicos para ser empleados como adsorbentes de metales tóxicos y de interés nuclear*. Departamento de Química. Contribuciones del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares al avance de la Ciencia y la Tecnología en México.

Deng, H., Lua, J., Lib, G., Zhanga, G. y Wang, X. (2011). Adsorption of methylene blue on adsorbent materials produced from cotton stalk. *Chem. Eng. J*, 172 (1), 326-334.

Departamento de Química Física. (2020). Apunte de Química Física avanzada. Tema 7. *Superficies sólidas: adsorción y catálisis heterogénea*. Universidad de Valencia.

Departamento de Química. Dirección de carrera Ingeniería Química. (2019). *Manual de seguridad en el laboratorio*. Universidad Nacional del Comahue.

Depci., kul., y Onal. (2012). Competitive Adsorption of Lead and Zinc from Aqueous Solution on Activated Carbon Prepared from Van Apple Pulp: Study in Single-and Multi-Solute Systems. *Chemical Engineering Journal*, 200(202), 224-246. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2012.06.077>

Descamps, M. (1986). *Psicosociología de la moda*. México: Fondo de la cultura económica.

Dunicz, B. L. (1961). Surface area of activated charcoal by Langmuir adsorption isotherm. *Journal of Chemical Education*, 38(7), 357.

Dunlosky, J., Rawson, K. A., Marsh, E. J., Nathan, M. J., y Willingham, D. T. (2013). Improving Students' Learning with Effective Learning Techniques: Promising Directions From Cognitive and Educational Psychology. *Psychological Science in the Public Interest*, 14(1), 4–58. <https://doi.org/10.1177/1529100612453266>

Fernández, J., Elortegui, N., Rodríguez, J. F. y Moreno, T. (1999). *¿Cómo hacer Unidades Didácticas innovadoras?* Sevilla: Diada.

Fichas internacionales de Seguridad en Química. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. Madrid. <https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/fisq>

Foo, K.Y. y Hameed, B.H. (2010). Insights into the Modeling of Adsorption Isotherm Systems. *Chemical Engineering Journal*, 156, 2-10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2009.09.013>

Forgacs, E., Cserháti, T. y Oros, G. (2004). Removal of synthetic dyes from wastewaters: a review. *Environ. Int*, 30 (7), 953-971.

Gadea, E. (2005). “NTP 359. Seguridad en el laboratorio: Gestión de residuos tóxicos y peligrosos en pequeñas cantidades” *Notas Técnicas Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo*. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, España. <http://www.insht.e>

Gallego, C. y Rubio, A. (2021). Remoción de colorantes en aguas procedentes de la industria textil mediante el uso de biocarbón. Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia UdeA, Medellín. Colombia.

García, J.O., Sánchez, A., Carvajal, Y., Suárez, E., Quesada, J. y Leiva, A. (2017). Estudio de adsorción de ácidos orgánicos en ceniza de Bagazo de caña de azúcar. *Centro Azúcar*, 44(3).
<http://centrozucar.uclv.edu.cu/>

García, M. y Mazzarella, C. (2011). Efecto de una intervención didáctica constructivista sobre el conocimiento y la resolución de problemas relacionados con Herencia Biológica en estudiantes de novena grado. *Revista de investigación*, 74 (35).

Harlen, W. (2007). *Enseñanza y aprendizaje de las ciencias*. Morata.

Hernández, J. E. (2019). *Programación en Excel para el análisis de ensayos experimentales de biosorción de contaminantes en medio acuoso*. Facultad de Química y Farmacia. Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas.

Hernandez, R., Carrasco, P., Mujica, R. y Espínola, M. (2007). Evaluación de la capacidad de adsorción de desechos agroindustriales para remoción de ácido acético. *Revista de la Facultad de ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 22 (3).

Hernández, Y., García, Y.N. y Calvache, J.E.A. (2019). Algoritmo de Matlab® para calcular isotermas de adsorción de Langmuir en ácidos carboxílicos con adsorbente sólido carbón activado y Amberlite IRA 67. *Educación Química*, 30(1), 10-20.
DOI:10.22201/fq.18708404e.2019.1.64601

Hugo, D. (2001). “Algunos criterios de selección y organización de contenidos para planificar las Ciencias Naturales de 11 a 14 años”. *XII Reunión de Educadores en la Química*. Capital federal: Universidad de San Martín.

Instituto Nacional de Formación Docente, dependiente del Ministerio de Educación de Argentina.

Jorba, J. y Sanmartí, N. (1993). La función pedagógica de la evaluación. *Aula de innovación educativa*, 20(7), 24-27.

Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 173-184.

Levine, I. N. (2004). *Fisicoquímica*. Mc Graw Hill.

Ley de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires N° 2214. “*Residuos Peligrosos, generación manipulación, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final*”. República Argentina. http://www.buenosaires.gov.ar/areas/leg_tecnica/sin/norma_pop.php

Ley Nacional N° 24051. “*Residuos Peligrosos: generación, manipulación, transporte y disposición final*”. República Argentina. <http://www.infoleg.gov.ar/>

López, C. (2013). *Adsorción de ácidos carboxílicos de cadena corta sobre carbón activado: Estudio en una reacción de esterificación*. Bogotá: Universidad de los Andes.

Lorenzo, M. G., Farré, A. S. y Rossi, A. M. (2018). La formación del profesorado universitario de ciencias. El conocimiento didáctico y la investigación científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(3), 360301-360316

Marchán-Carvajal, I., Sanmartí, N. y Las Heras, D. (2014). Una revisión sobre el uso de contextos en la enseñanza de las ciencias y su potencial para el desarrollo de la competencia científica. *Investigación y transferencia para una educación en ciencias: Un reto emocionante*, 702-710.

Marlon, R., Asencios, V. y Mendoza, M. (2021). Importancia de los colorantes y tintes naturales para las poblaciones originarias de la amazonia peruana. *In Llamkasun*, 2(4), 139-152. [10.47797/llamkasun.v2i4.69](https://doi.org/10.47797/llamkasun.v2i4.69)

Martín, J.M. (1990). *Adsorción física de gases y vapores por carbones*. Universidad de Alicante, Secretariado de Publicaciones. 376 p. <http://hdl.handle.net/10045/4291>.

Martínez, E. y Vázquez, A. (2007). *Marketing de la moda*. Madrid: Pirámide.

Martínez, S. M., Bonnet, A. y Furci, V. (2022). Formación docente en Ciencias Naturales en el marco de la ley de Educación Ambiental Integral. *Revista Argentina de Investigación Educativa (RAIE)*, II (4), 85-98.

Mendoza, M. A. G. (2005). La transposición didáctica: historia de un concepto. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos (Colombia)*, 1(1), 83-115.

Monroy, A. C. (2020). Enfoque CTSA para la enseñanza de buenas prácticas de laboratorio : remoción de Cr (VI) con cáscara de naranja. <http://hdl.handle.net/20.500.12209/13150>.

Montenegro, C.A. (2014). *Agua para un mundo nuevo*. Química industrial. Facultad de Tecnología. Universidad Tecnológica de Pereira.

Morales, N. (2007). *Estudio preliminar de la adsorción de los ácidos acético y benzoico con adsorbentes de bases silícica*. Facultad de Química-Farmacia. Universidad Central “Martha Abreu” de Las Villas.

Moreno, A., Ríos, J.C. y Flores, S.E. (2021). *Carbón activado: generalidades y aplicaciones*. Universidad Autónoma de Coahuila.

Pérez, M.C. y Varela, P. (2006). Una Propuesta para desarrollar en el Alumno de Secundaria una Visión Unificada de la Física a partir de la Energía. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(2), 237-250. <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/920/92030206.pdf> , Consultado el 20-10-2011.

Perry, R. H. y Green, D. W. (1992). *Perry Manual del Ingeniero químico*. McGraw- Hill.

Pozo, J.I., y Gómez, M.A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico (5ta ed.)*. Morata.

Prieto, J.O., Bucki, B., Castillo, D., Morales, F.E. y Mollineda, A. (2009). La adsorción y el intercambio de iones níquel (II) utilizando ceniza de Bagazo de caña de azúcar. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* Vol. 13.

Riddick, J.A., & Bunger, W. (1970). *Organic Solvents. Thechniques of Chemistry*. Wiley-Interscience.

Rodríguez, V.A. (2018). “Estudios de adsorción de colorante natural sobre arcillas naturales y sus aplicaciones en enseñanza de la química”. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional del Comahue.

Román, G.E. (2021). *Estudio computacional de la estructura y reactividad de materiales porosos y su interacción con moléculas de interés farmacéutico*. Universidad Nacional del Sur.

Roquero, A. y Martínez, F. M. (2010). Presente y Futuro de los Colorantes Naturales. *IX Congreso Nacional del Color*. Universidad Alicante.

Sangiacomo, J. *Manual del carbón activo*. Universidad de Sevilla. Academia. Accelerating the world's research.

Sanmartí (2007). Hablar, leer y escribir para aprender ciencia. *La competencia en comunicación lingüística en las áreas del currículo*. Universidad Autónoma de Barcelona.

Sanmartí, N. (2002). *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria*. Síntesis Educación. Madrid.

Sevillano, A.S. y Torres, P. B. (2013). *Obtención de carbón activado a partir de madera*. *Ingeniería Química*. Facultad de Ciencias Aplicadas a la industria. Universidad Nacional de Cuyo.

Sevillano, N. (2020). Atención prestada a las interacciones CTSA en la Educación Científica. Máster en investigación en Didácticas Específicas. Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales. Universidad de Valencia.

Skoog, D.A., West, D.M., Holler, F.J. y Crouch, S.R. (2014). *Fundamento de química analítica*. Cengage learning

Sosa, G.L. (2021). *Retención de cinc por diatomitas: efecto de sus interacciones con ligandos en sistemas modelo y efluentes de galvanoplastia*. Universidad Nacional de General Sarmiento.

Sotelo, I. L. y Romero, E. V. (2022). La prevención de riesgos ambientales asociados al agua desde el proyecto institucional de grupo. *Revista Argentina de Investigación Educativa*, II(4), 231-247.

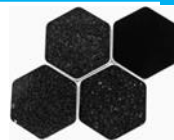
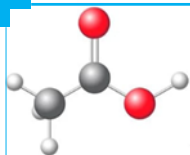
Toribio, V., y Álvarez, D. (2018). La moda y su influencia en la identidad cultural adolescente. *Arte, Individuo y Sociedad*. 31(2), 409-423. <https://doi.org/10.5209/ARIS.60819>

Valencia, S., Méndez, O. y Pedreros, R. (2005). La re contextualización y re significación de saberes como estrategia de formación de docentes en ciencias. *Revista TEA (Tecne, Episteme y Didaxis)*. No extra, 94-96.

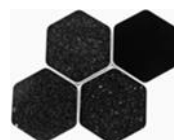
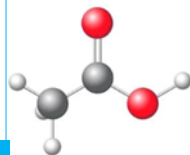
Xinyu, C., Faysal Hossain., Chengyu, D., Jian, L., Yiu Fai., Shoffikul, I. y Yanbo, Z. (2002). Isotherm models for adsorption of heavy metals from water. *Chemosphere*. www.elsevier.com/locate/chemosphere

Zabala, A. (1999). *Enfoque globalizador y pensamiento complejo. Una respuesta para la comprensión e intervención en la realidad*. Graó.

Zaupa, J., Grafia, A., Castillo, L. y Barbosa, S. (2016). Uso de talco como decolorante de efluentes líquidos. *Avances en ciencia e ingeniería*, 7(2), 1-8.



ANEXO 1



Anexo 1

Las Fichas Internacionales de Seguridad Química¹ (FISQ), versión española de las International Chemical Safety Cards (ICSCs), recogen información esencial de seguridad y salud de sustancias químicas contrastada por un grupo de trabajo a nivel internacional. Las ICSCs son una producción conjunta entre el Programa Internacional sobre Seguridad Química (IPCS), en el que participa la Organización Mundial de la Salud y la Oficina Internacional del Trabajo, la Comisión Europea y una red mundial de instituciones participantes, entre ellas el INSST. En este anexo se encuentran las fichas de seguridad de las sustancias utilizadas además del instructivo de seguridad en práctica de laboratorio para poder realizar los experimentos propuestos.

1.1. FICHA DE SEGURIDAD DE ÁCIDO ACÉTICO

A continuación se presenta la ficha de seguridad del ácido acético²

ÁCIDO ACÉTICO Ácido acético glacial Ácido etanoico Ácido etílico Ácido metanocarboxílico	ICSC: 0363 (Mayo 2010)
CAS: 64-19-7 N° ONU: 2789 CE: 200-580-7	


	PELIGROS	PREVENCIÓN	LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO Y EXPLOSIÓN	Inflamable. Por encima de 39 °C pueden formarse mezclas explosivas vapor/aire. Riesgo de incendio y explosión en contacto con oxidantes fuertes.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar. Por encima de 39 °C, sistema cerrado, ventilación y equipo eléctrico a prueba de explosión.	Usar polvo, espuma resistente al alcohol, agua pulverizada, dióxido de carbono. En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.

¡EVITAR TODO CONTACTO!			
	SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS
Inhalación	Dolor de garganta. Tos. Sensación de quemazón. Dolor de cabeza. Vértigo.	Usar ventilación, extracción localizada o protección	Aire limpio, reposo. Posición dessemiincorporado.

¹ <https://www.insst.es/documentacion/coleccion-tecnicas/fisq>

² https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_lang=es&p_card_id=0363&p_version=2

	Jadeo. Dificultad respiratoria.	respiratoria.	Proporcionar asistencia médica inmediatamente.
Piel	Dolor. Enrojecimiento. Quemaduras cutáneas. Ampollas.	Guantes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar y lavar la piel con agua y jabón. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse durante 15 minutos como mínimo. Proporcionar asistencia médica inmediatamente.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor. Quemaduras graves. Pérdida de visión	Utilizar pantalla facial o protección ocular en combinación con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad). Proporcionar asistencia médica inmediatamente.
Ingestión	Dolor de garganta. Sensación de quemazón. Dolor abdominal. Vómitos. Shock o colapso.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. En los primeros minutos tras la ingestión, se puede dar a beber un vaso pequeño de agua. Proporcionar asistencia médica inmediatamente.

DERRAMES Y FUGAS	CLASIFICACIÓN Y ETIQUETADO
<p>Eliminar toda fuente de ignición. Protección personal: traje de protección química, incluyendo equipo autónomo de respiración. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes precintables. Neutralizar con precaución el líquido derramado con carbonato sódico, solo bajo la responsabilidad de un experto.</p>	<p>Conforme a los criterios del GHS de la ONU</p>  <p>PELIGRO</p> <p>Líquido y vapores inflamables Nocivo en contacto con la piel o si se inhala Puede ser nocivo en caso de ingestión Provoca graves quemaduras en la piel y lesiones oculares Puede irritar las vías respiratorias Provoca daños en el tracto respiratorio tras exposiciones prolongadas o repetidas si se inhala Nocivo para los organismos acuáticos.</p>
<p>ALMACENAMIENTO</p> <p>A prueba de incendio. Separado de alimentos y piensos, oxidantes fuertes, ácidos fuertes y bases fuertes. Almacenar solamente en el recipiente original. Bien cerrado. Mantener en lugar bien ventilado. Almacenar en un área sin acceso a desagües o alcantarillas.</p>	
<p>ENVASADO</p> <p>No transportar con alimentos y piensos.</p>	<p>Transporte Clasificación ONU Clase de Peligro ONU: 8; Peligro Secundario ONU: 3; Grupo de Embalaje/Envase ONU: II</p>

INFORMACIÓN FÍSICO-QUÍMICA	
<p>Estado físico; aspecto LÍQUIDO INCOLORO DE OLOR ACRE.</p> <p>Peligros físicos Sin datos.</p> <p>Peligros químicos La sustancia es un ácido débil. Reacciona violentamente con oxidantes fuertes. Esto genera peligro de incendio y explosión. Reacciona violentamente con bases fuertes, ácidos fuertes y muchos otros compuestos. Ataca algunas formas de plásticos, el caucho y revestimientos.</p>	<p>Fórmula: C₂H₄O₂/ CH₃COOH Masa molecular: 60.1 Punto de ebullición: 118 °C Punto de fusión: 16.7 °C Densidad relativa (agua = 1): 1,05 Solubilidad en agua: miscible Presión de vapor, kPa a 20 °C: 1,5 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 2,1 Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1,02 Punto de inflamación: 39 °C c.c. Temperatura de autoignición: 485 °C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 6,0-17 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -0,17</p>

EXPOSICIÓN Y EFECTOS SOBRE LA SALUD	
<p>Vías de exposición Hay efectos locales graves por todas las vías de exposición.</p> <p>Efectos de exposición de corta duración La sustancia es corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión. La inhalación puede originar edema pulmonar, pero sólo tras producirse los efectos corrosivos iniciales en los ojos o las vías respiratorias.</p>	<p>Riesgo de inhalación Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante rápidamente una concentración nociva en el aire.</p> <p>Efectos de exposición prolongada o repetida El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. Los pulmones pueden resultar afectados por la exposición prolongada o repetida al aerosol de esta sustancia. Riesgo de erosión dental por la exposición prolongada o repetida al aerosol de esta sustancia.</p>

LÍMITES DE EXPOSICIÓN LABORAL
<p>EU-OEL: 25 mg/m³, 10 ppm como TWA; 50 mg/m³, 20 ppm como STEL. MAK: 25 mg/m³, 10 ppm; categoría de limitación de pico: I (2); riesgo para el embarazo: grupo C. TLV: 10 ppm como TWA; 15 ppm como STEL</p>

MEDIO AMBIENTE
La sustancia es nociva para los organismos acuáticos.

NOTAS
El número ONU 2789 corresponde al ácido acético, ácido acético glacial o disolución de ácido acético con más del 80 % del ácido en peso.

Otro número ONU: 2790 disolución de ácido acético (entre el 10 y el 80 % de ácido acético en peso); clase de peligro: 8, grupo de emb/env: II-III.

INFORMACIÓN ADICIONAL

- Límites de exposición profesional (INSST 2019):
 VLA-ED: 10 ppm, 25 mg/m³
 VLA-EC: 20 ppm, 50 mg/m³
 - N° de índice (clasificación y etiquetado armonizados conforme al Reglamento CLP de la UE): 607-002-00-6
 -**Clasificación UE**
 Pictograma: C; R: 10-35; S: (1/2)-23-26-45; Nota: B

1.2. FICHA DE SEGURIDAD DE HIDRÓXIDO DE SODIO

Seguidamente se presenta la ficha de seguridad del hidróxido de sodio³

HIDRÓXIDO DE SODIO	ICSC: 0360 (Mayo 2010)
Sosa cáustica Hidrato de sodio Lejía de sosa	
CAS: 64-19-7 N° ONU: 2789 CE: 200-580-7	


	PELIGROS	PREVENCIÓN	LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO Y EXPLOSIÓN	No combustible. El contacto con la humedad o el agua, puede generar suficiente calor para provocar la ignición de materiales combustibles. Riesgo de incendio y explosión en contacto con sustancias incompatibles. Ver Peligros Químicos.	NO poner en contacto con agua. NO poner en contacto con materiales incompatibles: ver Peligros Químicos.	En caso de incendio en el entorno: usar un medio de extinción adecuado.

**¡EVITAR LA DISPERSIÓN DEL POLVO! ¡EVITAR TODO CONTACTO!
 ¡CONSULTAR AL MÉDICO EN TODOS LOS CASOS!**

	SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS
Inhalación	Tos. Dolor de garganta. Sensación de quemazón. Jadeo.	Usar extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Proporcionar asistencia médica inmediatamente.

³ https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_lang=es&p_card_id=0360&p_version=2

Piel	Enrojecimiento. Dolor. Quemaduras cutáneas graves. Ampollas.	Guantes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar y lavar la piel con agua y jabón. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse durante 15 minutos como mínimo. Proporcionar asistencia médica inmediatamente.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor. Quemaduras graves. Pérdida de visión	Utilizar pantalla facial o protección ocular en combinación con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad). Proporcionar asistencia médica inmediatamente.
Ingestión	Dolor abdominal. Quemaduras en la boca y garganta. Sensación de quemazón en la garganta y el pecho. Náuseas. Vómitos. Shock o colapso.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. En los primeros minutos tras la ingestión, se puede dar a beber un vaso pequeño de agua. Proporcionar asistencia médica inmediatamente.

DERRAMES Y FUGAS	CLASIFICACIÓN Y ETIQUETADO
<p>Protección personal: traje de protección química, incluyendo equipo autónomo de respiración. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente de plástico tapado. Recoger cuidadosamente el residuo. A continuación, almacenar y eliminar el residuo conforme a la normativa local.</p>	<p>Conforme a los criterios del GHS de la ONU</p> <div style="text-align: center;">  <p>PELIGRO</p> </div> <p>Nocivo en caso de ingestión Provoca graves quemaduras en la piel y lesiones oculares Puede irritar las vías respiratorias</p> <p>Transporte Clasificación ONU Clase de Peligro ONU: 8; Grupo de Embalaje/Envase ONU: II</p>
ALMACENAMIENTO	
<p>Separado de alimentos y piensos, ácidos fuertes y metales. Almacenar solamente en el recipiente original. Seco. Bien cerrado. Almacenar en un área sin acceso a desagües o alcantarillas.</p>	
ENVASADO	
No transportar con alimentos y piensos.	

INFORMACIÓN FÍSICO-QUÍMICA	
<p>Estado físico; aspecto SÓLIDO BLANCO HIGROSCÓPICO EN DIVERSAS FORMAS.</p> <p>Peligros físicos Sin datos.</p> <p>Peligros químicos La disolución en agua es una base fuerte. Reacciona violentamente con ácidos y es corrosiva para metales tales como aluminio, estaño, plomo y cinc. Esto produce un gas explosivo/combustible (hidrógeno - ver FISQ 0001). Reacciona con sales de amonio. Esto produce amoniaco. Esto genera peligro de incendio. El contacto con humedad y agua genera calor. Ver Notas.</p>	<p>Fórmula: NaOH Masa molecular: 40,0 Punto de ebullición: 1388 °C Punto de fusión: 318 °C Densidad: 2,1 g/cm³ Solubilidad en agua, g/100ml a 20°C: 109 (muy elevada)</p>

EXPOSICIÓN Y EFECTOS SOBRE LA SALUD	
<p>Vías de exposición Hay efectos locales graves por todas las vías de exposición.</p> <p>Efectos de exposición de corta duración La sustancia es corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión.</p>	<p>Riesgo de inhalación Puede alcanzarse rápidamente una concentración nociva de partículas suspendidas en el aire cuando se dispersa.</p> <p>Efectos de exposición prolongada o repetida El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.</p>

LÍMITES DE EXPOSICIÓN LABORAL
TLV: 2 mg/m ³ (valor techo)

MEDIO AMBIENTE
Esta sustancia puede ser peligrosa para el medio ambiente; debería prestarse atención especial a los organismos acuáticos.

NOTAS
<p>El valor límite de exposición laboral aplicable no debe ser superado en ningún momento por la exposición en el trabajo.</p> <p>NO verter NUNCA agua sobre esta sustancia; cuando se deba disolver o diluir, añadirla al agua siempre lentamente.</p> <p>Otros números ONU: 1824 Hidróxido sódico en solución, clase de peligro: 8, grupo de emb/env: II-III.</p>

INFORMACIÓN ADICIONAL

- Límites de exposición profesional (INSST 2021):
VLA-EC: 2 mg/m³
- N° de índice (clasificación y etiquetado armonizados conforme al Reglamento CLP de la UE): 011-002-00-6
- **Clasificación UE**
Pictograma: C; R: 35; S: (1/2)-26-37/39-45

1.3. INSTRUCTIVO DE SEGURIDAD EN PRÁCTICA DE LABORATORIO

Por último, se presenta el instructivo de seguridad en práctica de laboratorio⁴.

CONSEJOS GENERALES:

- No entrar en el laboratorio sin que esté presente el docente responsable
- Estudiar cada experiencia antes de llevarla a cabo y seguir las instrucciones del docente responsable.
- Consultar las **hojas de seguridad de productos químicos** de las sustancias a utilizar.
- Mantener una actitud responsable, no se deben hacer bromas, correr, ni gritar.
- No comer, beber o fumar en el laboratorio.
- Lavarse las manos antes de abandonar el laboratorio



VESTIMENTA:

- Es **obligatorio** utilizar guardapolvo de manga larga y mantenerlo abrochado.
- Es **obligatorio** Utilizar lentes de seguridad para proteger los ojos
- Es **obligatorio** el uso de zapatos cerrados. No se debe utilizar sandalias, ojotas u otro tipo de calzado abierto.
- Está **prohibido** el uso de lentes de contacto
- Llevar el pelo recogido
- No se deben llevar pulseras, colgantes o prendas sueltas
- Si se tienen heridas se deben llevar cubiertas
- Proteger las manos con guantes cuando la práctica lo requiera
- Usar botines de seguridad cuando la práctica lo requiera



⁴ Manual de seguridad en el laboratorio. (2019.). Departamento de Química. Dirección de carrera Ingeniería Química. Universidad Nacional del Comahue

HÁBITOS DE TRABAJO:

- Comprobar la ubicación del material de seguridad como extintores, lavaojos, botiquín, etc.
- Seguir el protocolo de trabajo marcado por el responsable de las prácticas.
- Leer la etiqueta o consultar la ficha de datos de seguridad de los productos antes de su utilización. No utilizar ningún reactivo que no tenga etiqueta.
- No tocar, aspirar ni probar los productos químicos.
- Evitar realizar mezclas que no sean las indicadas.
- Utilizar campana de gases para todas las operaciones en las que se manipulen sustancias tóxicas o volátiles.
- No trabajar lejos de la mesada, ni colocar objetos en el borde.
- Los tubos de ensayo no deben llenarse más de 2 ó 3 cm y deben utilizarse con soportes adecuados.
- Calentar los tubos de ensayo de lado, utilizando pinzas. No mirar al interior del tubo ni dirigir la boca del tubo hacia otro compañero ni hacia uno mismo.
- En la dilución de ácidos, añadir siempre el ácido sobre el agua y no al revés, ya que podría producirse una proyección peligrosa.
- **Está terminantemente prohibido** pipetear reactivos directamente con la boca. Usar siempre un dispositivo especial para pipetear líquidos.
- No dejar destapados los frascos ni aspirar su contenido. Muchas sustancias líquidas (alcohol, éter, cloroformo, amoníaco...) emiten vapores tóxicos.
- No retornar nunca a los frascos de origen los sobrantes de los productos utilizados sin consultar con el profesor.
- Al finalizar el trabajo asegurarse de la desconexión de aparatos, agua, gases, etc



DERRAMES:

- Los derrames pequeños deben limpiarse inmediatamente
- En caso de vertido importante de sustancias químicas avisar inmediatamente al responsable de las prácticas

RESIDUOS:

- Para la eliminación de residuos utilizar los recipientes destinados a tal fin
- Si por cualquier causa hubiera que verter alguna disolución por el desagüe, debe neutralizarse previamente.
- Está prohibido desechar líquidos inflamables, tóxicos, corrosivos, peligrosos para el medio ambiente como así también material biológico por los desagües.
- Si por accidente se originase un vertido en las piletas, añadir siempre abundante agua.
- No tirar productos, ni papeles impregnados en las papeleras.

ACCIDENTES:

¡En caso de accidente, avisar inmediatamente al docente responsable de la práctica!

- Salpicaduras en los ojos y sobre la piel:
Lavar con agua durante 10 o 15 minutos, empleando si es necesario la ducha de seguridad; quitarse la ropa y objetos previsiblemente mojados por el producto.
Si la salpicadura es en los ojos, emplear el lavaojos durante 15-20 minutos. No intentar neutralizar y acudir al médico lo más rápidamente posible con la etiqueta o ficha de seguridad del producto.
- Quemaduras térmicas: Si son pequeñas, lavar abundantemente con agua fría por 10 minutos para enfriar la zona quemada. Si las quemaduras son importantes se debe requerir atención médica inmediata
- Intoxicación digestiva: Debe tratarse en función del tóxico ingerido, para lo cual se debe disponer de información a partir de la etiqueta y de la ficha de datos de seguridad.