

Experiencia en la formación de Ingenieros y Arquitectos

Modelo de ejercicio integrador para Química-Física I en Ingeniería en Metalurgia y Materiales. Universidad Tecnológica de La Habana

Model of an integrative exercise for Physical Chemistry I in Engineering in Metallurgy and Materials. Technological University of Havana

Miguel Garrido Rodríguez¹. Mercedes Eulalia Sosa Martínez². José M. Fernández

^{1,3}Departamento de Química Básica. Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría. Cuba.

¹Correo electrónico: magarrido@icb.cujae.edu.cu

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7174-9452>

² Departamento Metalurgia Química. Universidad de Moa Antonio Núñez Jiménez

Correo electrónico: msosa@ismm.edu.cu

ORCID <https://orcid.org/0009-0002-2947-3488>

³Correo electrónico pepe@icb.cujae.edu.cu

ORCID <https://orcid.org/0009-0001-1362-7609>

Recibido: 17 de diciembre de 2025

Aceptado: 23 de febrero de 2026

Resumen

La asignatura Química-Física es el eslabón esencial al fundamentar científicamente las transformaciones físico química en los procesos metalúrgicos por su carácter integrador entre las Disciplinas Química, Física y Matemática, y el vínculo con las asignaturas del currículo propio de la carrera Ingeniería en Metalurgia y Materiales. El análisis del Plan de estudio de la carrera muestra la amplitud del campo de acción y de actuación del ingeniero basado en la complejidad y la variedad de los procesos metalúrgicos en los que tienen lugar las transformaciones físico química. Actualmente en el proceso de enseñanza-aprendizaje se aplica el sistema de conocimientos en la solución de ejemplos en las clases prácticas y trabajos extraclases en base a los temas previstos en el programa de la asignatura, lo que no se corresponde con la solución integral al no aplicar un

modelo general en el análisis y solución del problema ingenieril. Estos elementos determinan que el objetivo de este artículo es implementar un modelo general en el análisis y solución de problemas ingenieriles en la enseñanza de la Química-Física en el proceso de formación profesional.

Palabras clave: enseñanza de la Química-Física, formación de ingenieros metalúrgicos y materiales, ejercicios integradores, actividades docentes.

Abstract

The subject of Physical Chemistry is essential for scientifically grounding the physicochemical transformations in metallurgical processes due to its integrative nature across the disciplines of Chemistry, Physics, and Mathematics, and its connection to the subjects within the curriculum of the Metallurgy and Materials Engineering degree. Analysis of the degree program demonstrates the breadth of the engineer's scope of action and practice, based on the complexity and variety of metallurgical processes in which these physicochemical transformations occur. Currently, the teaching and learning process applies the knowledge base to solving examples in practical classes and assessments, based on the topics outlined in the course syllabus. However, this approach does not provide a comprehensive solution because it fails to apply a general model to the engineer's analysis and solution of the problem, taking into account the object, objective, and scope of the profession. These elements determine that the object of this articulation is implemented in a general model in the analysis and solution of engineering problems in the teaching of Physical Chemistry in the professional training process.

Keywords: Teaching of Physical Chemistry, training of metallurgical and materials engineers, integrative exercises, teaching activities.

Licencia Creative Commons



Introducción

En la formación de los ingenieros es esencial el trabajo metodológico que permita la integración en el sistema de conocimientos y habilidades de las asignaturas del currículo base, acorde al modo de actuación del profesional (Flores, 2024).

Este objetivo se logra mediante el vínculo con el currículo propio, al analizar en las actividades docentes las transformaciones físico químicas que caracterizan los procesos ingenieriles. Sin embargo, este elemento no es suficiente en la formación gradual de las competencias de los estudiantes, es imprescindible el trabajo metodológico que permita el análisis de ejemplos integradores del sistema de conocimientos en las asignaturas del currículo base. En la actualidad en el proceso docente se aplica el sistema de conocimiento y habilidades a ejercicios según los temas previstos en el programa de la asignatura. Estos no están concebidos como una situación problema a resolver, que precisa del análisis integral desde la interrelación currículo base-curriculum propio. Esto implica considerar las transformaciones físico-químicas como resultado de la relación estructura-propiedades de las sustancias en los procesos metalúrgicos para transformar minerales, materiales metálicos y no metálicos en productos o semi-productos con calidad, productividad, rentabilidad y competitividad para el desarrollo sostenible, basado en la caracterización de las materias primas y productos.

En este trabajo se propone implementar un modelo general en el análisis y solución de problemas profesionales teniendo en cuenta el problema, objeto, campo de acción del profesional y el objetivo del año en la enseñanza de la Química-Física. Para ello se analizan los elementos básicos a considerar en ejemplos integradores en las actividades docentes en la asignatura Química-Física en la carrera de Ingeniería en Metalurgia y Materiales en Cuba. Se muestra su aplicación en el proceso tecnológico básico en la metalurgia y materiales

Desarrollo

La asignatura Química-Física I que se imparte en el segundo año de la carrera Ingeniería en Metalurgia y Materiales tiene como sistema de conocimientos los temas: Estado gaseoso, Leyes Termodinámicas, Derivaciones de las leyes Termodinámicas y Equilibrio de fases. Este sistema incluye, conceptos, leyes y métodos imprescindibles para la caracterización de los procesos metalúrgicos (Garrido, 2018).

Las investigaciones revelan las potencialidades que brinda la estructuración metodológica de las asignaturas del ciclo básico entre sí y con el ciclo propio para el fortalecimiento de los procesos de formación profesional (López, 2021; Cabrera, 2020; Garrido, 2024; Fernández, 2024).

Este elemento presupone un proceso docente caracterizado por el análisis de ejercicios integradores, aspecto investigado por diversos los autores (Delgado, 2004; Ortiz, 2021; López, 2021; Mariño, 2021; Rubio, 2018) que indican su importancia en el proceso de enseñanza aprendizaje en particular la interrelación entre: conocimiento, habilidad, motivación, pensamiento lógico, creatividad y el modo de actuación del profesional.

Otro aspecto a considerar es el Reglamento del Trabajo Científico Metodológico (MES, 2018) donde se indica la necesidad de aplicar el sistema de conocimientos y habilidades en ejercicios integrales que muestren el vínculo teoría-práctica, o sea la transformación curricular que contribuya a lograr competencia profesional.

En el trabajo se proponen los elementos básicos o invariantes del conocimiento a tener en cuenta para conformar ejercicios integradores de Química-Física I.

Estructura de los ejercicios integradores

Para seleccionar los ejercicios integradores se considera un modelo en el que existen tres invariantes del conocimiento que determinan las propiedades de las sustancias y sus transformaciones mediante las reacciones químicas:

- Estructura-Enlace químico de las sustancias.
- Reacción química.
- Enlace químico-Reacción química.

La estructura-enlace químico, incluye los elementos químicos, pues, su estructura define: propiedades, clasificación y ubicación en la tabla periódica, como se muestra en la figura 1.

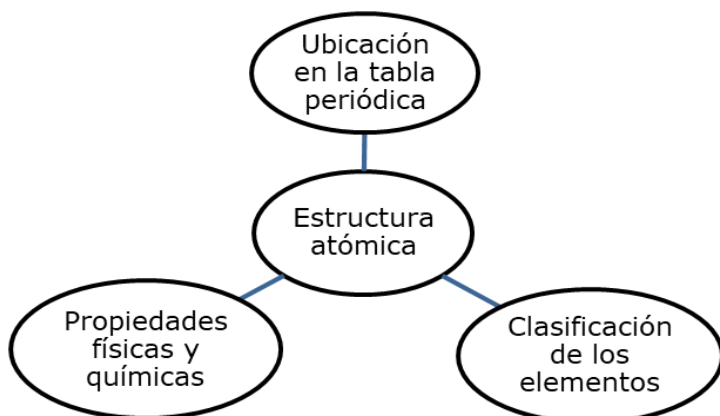


Figura.1. Interrelación estructura-propiedades-clasificación. Elaboración propia.

Esta característica explica el tipo de enlace para formar sustancias compuestas con propiedades diferentes a los reactivos, figura 2.

La reacción química caracteriza la transformación de los reactivos en productos del proceso en dependencia de su naturaleza y las condiciones del sistema donde ocurre la reacción. Entre estas variables pueden indicarse la temperatura, la presión, la concentración y otras, que influyen en la eficiencia del proceso. Para analizar la interrelación eficiencia-factores externos en el reactor, es necesario aplicar los sistemas de conocimientos y los métodos de investigación como un todo considerando el estado gaseoso, termodinámica, termoquímica y el equilibrio químico, indicados en la figura 3.

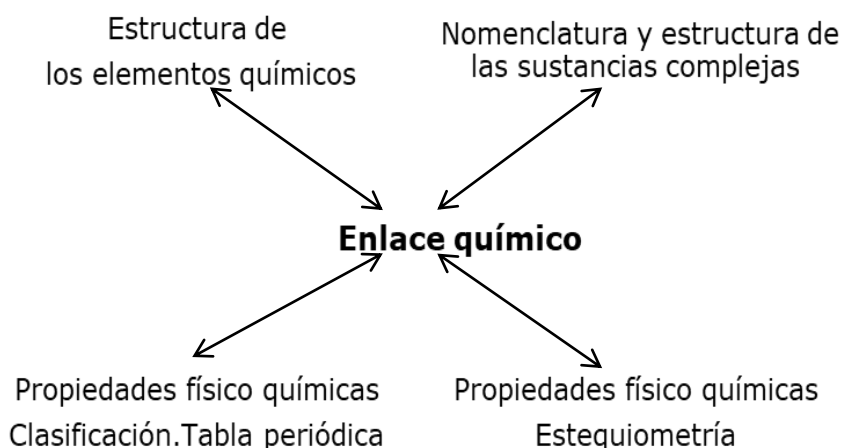


Figura 2. Interrelación estructura-enlace-propiedades. Elaboración propia.



Figura 3. Reacción química base en las transformaciones. Elaboración propia

La relación enlace-reacción química permite analizar la estabilidad de las sustancias ante los reactivos, o sea, evaluar la afinidad química entre los elementos que forman las sustancias compuestas.

Esta relación permite seleccionar:

- el proceso metalúrgico para la obtener los productos deseados.
- las condiciones para obtener alta eficiencia tecnológica.

El análisis permite concluir que se cumple el modelo indicado en la figura 4, donde la estructura atómica es el elemento central que define las propiedades, enlace, afinidad química, los procesos metalúrgicos y la selección de los parámetros tecnológicos que permitan la máxima eficiencia y la utilización racional de los recursos para garantizar la protección del medio ambiente.

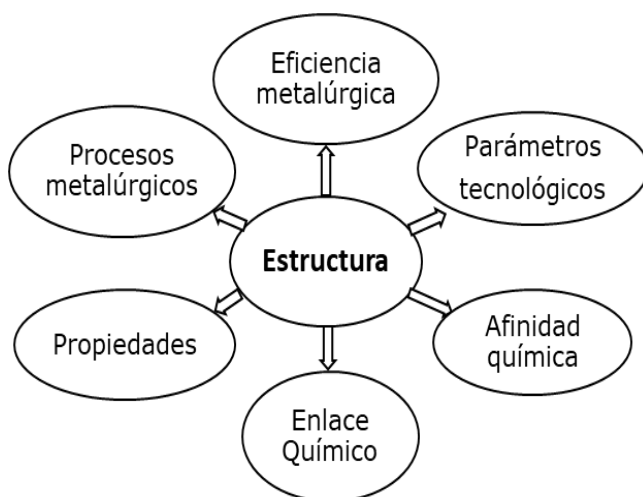


Figura 4. Modelo general de interrelación. Elaboración propia.

En general la selección del proceso pirometalúrgico o hidrometalúrgico depende de la naturaleza de las materias primas (reactivos) y del producto que se desea obtener.

Procesos pirometalúrgicos

Amplia aplicación en los procesos metalúrgicos, químicos y de los materiales.

a. Disociación. En el caso del proceso de disociación de los óxidos MeO y Me^oO para la obtener el metal, la naturaleza del metal determina su distribución electrónica, propiedades, ubicación en la tabla periódica, la fortaleza del enlace o energía reticular y por tanto, su estabilidad.



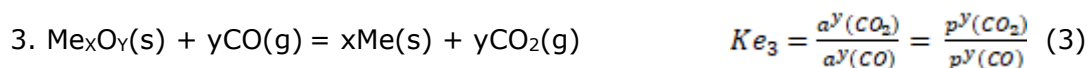
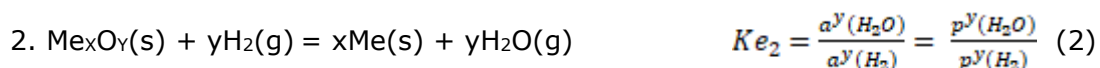
Para cuantificar la afinidad química o estabilidad se comparan los valores de: $p(\text{O}_2)$, ΔH_r^0 , Ke , ΔG_r^0 a la misma temperatura.

Este análisis se aplica a la disociación de otros compuestos como hidróxidos, carbonatos sulfatos, nitratos y otros. A iguales temperaturas se puede comparar la estabilidad entre óxidos, es decir, evaluar la afinidad química Me-O.

Características generales: En el proceso hay 3 fases en el equilibrio, sólidas 2 (MeO y Me) y la fase gaseosa (O₂) de composiciones químicas constantes (100%), endotérmico, alta temperatura de disociación que define la presión (pO₂) y la constante de equilibrio (ke).

b. Reducción. En el caso del proceso de reducción de los óxidos MeO y Me^oO para la obtener el metal, es posible utilizar varios procesos y agentes reductores:

- Reducción gasofásica, utilizando agentes reductores gaseosos (H₂ y CO).

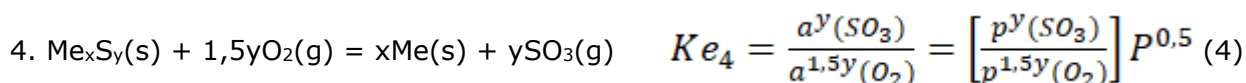


Características generales: Hay 3 fases en el equilibrio, sólidas 2 (MeO y Me) y la fase gaseosa (H₂ y H₂O) o (CO y CO₂), con el curso de la reacción la composición de las fases sólidas es constante no así en la gaseosa, determinando las presiones parciales de los gases, la constante de equilibrio (Ke) y el potencial isobaro isotérmico ΔG_r^0 .

Para cuantificar la afinidad química o estabilidad del óxido al comparar los valores de: ΔH_r^0 , Ke, ΔG_r^0 a la misma temperatura es posible:

- en iguales condiciones experimentales seleccionar el mejor agente reductor.
- en distintas condiciones experimentales determinar las de mejor eficiencia del proceso.

c. Tostación oxidante. Este es uno de los casos de mayor complicación porque el producto de la reacción química depende de la temperatura y p(O₂). En general es posible obtener MeSO₄, MeO y Me.

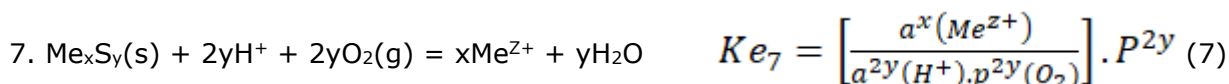
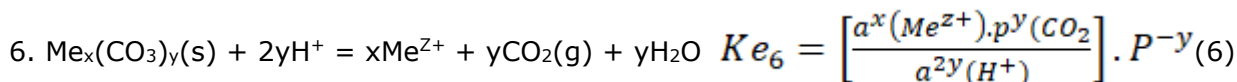
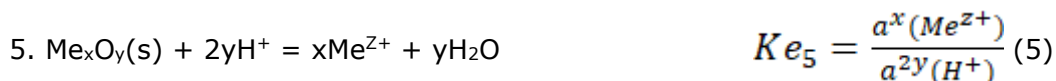


Características generales: Hay 3 fases en el equilibrio, sólidas 2 (MeO y Me) y la fase gaseosa (O₂ y SO₃) con el curso de la reacción la composición de las fases sólidas es constante no así en la gaseosa, determinando las presiones parciales de los gases, la constante de equilibrio (Ke) y el potencial isobaro isotérmico ΔG_r^0 .

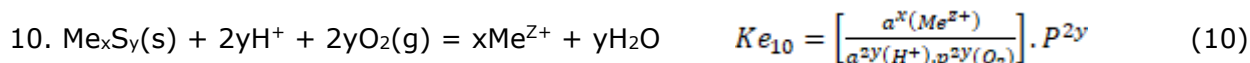
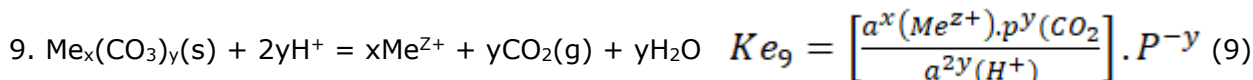
Para cuantificar la afinidad química o estabilidad del sulfuro a la misma temperatura se comparan los valores de ΔH_r^0 , Ke, ΔG_r^0 y la composición química de la fase gaseosa.

Procesos hidrometalúrgicos

d. Lixiviación ácida. Representa uno de los procesos más aplicados en la industria metalúrgica, química y los materiales. Los óxidos metálicos, carbonatos, hidróxidos y sulfuros son utilizados como materia prima y como agentes lixiviantes los ácidos fuertes; nítrico, clorhídrico y sulfúrico.

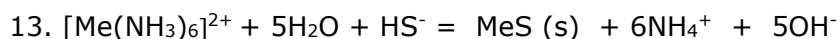
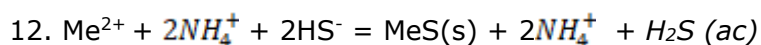
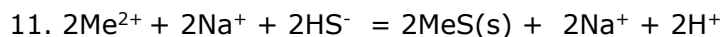


Características generales: Coexisten en el equilibrio las fases sólidas (óxido, carbonato o sulfuro) de composición constante y la fase líquida (solución acuosa de una sal fuerte y soluble) de composición química que cambia con el curso de la reacción al incrementar $a(\text{Me}^{z+})$ y el aumento del pH. En el caso del carbonato se incluye la fase gaseosa formada por el dióxido de carbono. En este caso el desarrollo de la reacción está definido por la temperatura y la $a(\text{H}^+)$ o pH



e. Precipitación de sustancias poco solubles.

La precipitación de compuestos poco solubles constituye un proceso que permite la obtención de metales deseados o como método de separación o purificación de soluciones. Un caso de particular interés es la formación de sulfuros metálicos a partir de soluciones acuosas básicas y ácidas en las que se usan como agentes precipitantes sulfuro de hidrógeno, hidrosulfuros de amonio y de sodio. En general estas reacciones se pueden representar:



Características generales: Coexisten en el equilibrio la fase sólida (sulfuro) de composición constante y la fase líquida (solución acuosa de una sal fuerte soluble, y el agente precipitante) de

composición química que cambia con el curso de la reacción al disminuirla la $a(\text{Me}^{z+})$ y cambios en el pH.

Análisis del ejercicio integrador

Actualmente en la enseñanza de la Química-Física I se ha logrado el vínculo con asignaturas de la carrera, pero no hay un análisis integral en la solución de los problemas profesionales.

El objetivo del ejercicio integrador no es la suma del sistema de conocimientos, sino el análisis de una situación problémica propia de su modo de actuación como se indica en el Plan de estudio E de la carrera (MES, 2018). Además, que contribuya a la sistematicidad en la aplicación del sistema del conocimiento y habilidades, aspecto esencial en el proceso enseñanza aprendizaje, como lo plantean diversos investigadores (Paz, 2020; Pimentel, 2018).

Otro aspecto significativo es el desarrollo del pensamiento lógico y las competencias profesionales de los estudiantes acorde al campo de actuación, incluyendo el dominio de la computación (Salfrán, 2023).

Para mostrar los elementos del ejercicio integrador seleccionamos varios ejemplos de procesos metalúrgicos:

Propuestas de ejercicios integradores.

a- En la obtención del acero se utiliza el óxido de calcio como fundente para la formación de la escoria obtenido de la disociación del carbonato de calcio.

b- En la industria del níquel se aplica la lixiviación carbonato amoniacal de los minerales lateríticos. En este proceso metalúrgico la reducción de los óxidos de níquel y cobalto es la etapa principal del proceso, no así la reducción de los óxidos de hierro que constituye una reacción no deseada. Analizar la reducción del Me_xO_y utilizando como agente reductor monóxido de carbono o dihidrógeno.

c- En la industria a partir minerales sulfuros se aplica la tostación oxidante para disminuir el contenido de azufre. En este proceso metalúrgico la oxidación es una etapa principal del proceso, caracterizada por ser exotérmicas, utilizando como agente oxidante el dióxígeno.

d- En la industria se aplica la lixiviación ácida presión de los minerales lateríticos y sulfurosos. En este proceso metalúrgico la lixiviación de los óxidos de níquel y cobalto es una etapa principal del proceso, no así de los óxidos de hierro que constituye una reacción no deseada. Analizar la lixiviación del Me_xO_y utilizando como agente lixivante el ácido sulfúrico.

En las propuestas es posible considerar las variantes siguientes:

1. Reacción estequiométrica.
2. Reacción estequiométrica con eficiencia inferior al 100%.
3. Reacción no estequiométrica con exceso de agente reductor u oxidante y eficiencia inferior al 100%.

En todas las variantes debe responderse los aspectos siguientes:

1. Representar esquema general del proceso metalúrgico, indicando los reactivos en la entrada y los productos en la salida del reactor.
2. Escribir la reacción química. En este paso se aplican las reglas de la nomenclatura química y el ajuste de la reacción mediante el método de error y tanteo.
3. Buscar en la tabla periódica los elementos químicos, su ubicación, la clasificación y las masas atómicas relativas.
4. Analizar el tipo de enlace en el Me_xO_y y Me_xS_y .
5. Aplicando las leyes de la estequiometría realizar el balance de materiales.
 - Calcular las masas molares de los reactivos y productos.
 - Calcular la masa y la cantidad del Me_xO_y y Me_xS_y , utilizando el contenido en la fase sólida o en la base de cálculo asumida.
 - Calcular la masa y cantidad total del agente reductor, oxidante o lixivante utilizando % en exceso.
 - Calcular la masa y la cantidad de los productos obtenidos en la reacción.
 - Calcular la masa de Me_xO_y y Me_xS_y que no reacciona.
- 6-Tabular los resultados del balance de materiales.
7. Aplicar la termodinámica química a la reacción química.
 - Obtener las ecuaciones del calor de reacción, la variación de entropía y el potencial isobaro isotérmico en función de la temperatura.
 - Calcular ΔH_r° , ΔS_r° y ΔG_r° .
 - Graficar la dependencia de ΔH_r° , ΔS_r° y ΔG_r° en función de la temperatura.
 - Analizar la influencia de la temperatura, la presión del agente reductor o el pH en la reacción, acorde a la variante seleccionada.
8. Aplicar el equilibrio químico a las reacciones.
 - Escribir la ecuación de la constante de equilibrio. K_e .
 - Obtener la ecuación del $\log K_e$ y K_e en función de la temperatura.
 - Graficar $\log K_e$ vs T, $\log K_e$ vs $1/T$ y K_e vs T.

- Calcular la composición química en el equilibrio:
 - 1ra Variante b y c) en función de la temperatura.
 - 2da Variante (d) Obtener la ecuación del $\log K_e$ y K_e en función del pH.
- Graficar $a(\text{Me})$ vs pH y $a(\text{Me})$ vs $a(\text{H}^+)$.
- 9. Calcular y graficar la eficiencia del proceso.
 - a- Eficiencia en función de la temperatura. (Variantes a, b y c)
 - b- Eficiencia en función del pH. (Variante d, e y f).
- 10. Equilibrio de fases.
 - Representar el gráfico de estabilidad de las fases. Justificar aplicando el Principio de Le Chatelier-Brown y la Ecuación isoterma de reacción.
- 11. Aplicar las ecuaciones de estado para calcular el volumen de los gases. Variantes (a, b y c). Asumir comportamiento ideal.

En la solución del ejercicio debe demostrarse los modelos matemáticos que permitan calcular las variables indicadas.

En general en las variantes indicadas es posible comparar la eficiencia de los procesos entre dos o más compuestos frente al agente reductor, oxidante o lixivante lo que permite analizar la fortaleza del enlace químico o sea la afinidad química catión-anión. Otra variante es investigar la eficiencia de los reactivos ante uno de los compuestos, lo que permite la selección del agente reductor, oxidante o lixivante. En ambos casos también se facilita la cinética del proceso, al alcanzar alta eficiencia en el menor tiempo posible.

La aplicación del modelo ha permitido utilizar ejemplos de procesos metalúrgicos reales en las actividades prácticas y el sistema de evaluación, se perfecciona la interrelación con el currículo propio de la carrera. Contribuye al desarrollo del pensamiento lógico de los estudiantes, el uso de la información científico técnica y la adquisición de competencias profesionales.

Conclusiones

El modelo indicado muestra la estructura atómica como elemento central que define las propiedades, enlace, afinidad química y los procesos metalúrgicos, químicos y los materiales.

Permite precisar las características generales de los procesos, fases en equilibrio y las variables que determinan el desarrollo de las reacciones químicas y la selección de los parámetros tecnológicos que permitan lograr la máxima eficiencia.

El modelo propuesto es aplicable a los procesos de transformación de estructuras cristalinas.

La aplicación de ejercicios integrador mejora el trabajo metodológico en la interrelación entre las asignaturas de la Disciplina química mediante la sistematicidad en la aplicación de conceptos,

leyes, métodos. Contribuye al trabajo metodológico interdisciplinario currículo básico-propio de la carrera, favoreciendo el aprendizaje de los estudiantes y las competencias profesionales.

Referencias bibliográficas

- Cabrera, G. (2020). Un enfoque metodológico del aprendizaje interdisciplinar: etapas, principios y niveles de interrelación. *Boletín REDIPE*, 5(6), 70-72.
<https://rc.upr.edu.cu/jspui/bitstream/DICT/3675/1/Articulo%202020%20febrero.pdf>
- Delgado, R. y Gato, C. (2018). La profesionalización de la Química en la especialidad Agronomía desde un enfoque medio ambiental. *MENDIVE*, 6(3), 409-425
http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-76962018000300409&script=sci_arttext
- Fernández, M., Cordero, E., Peña, A., González, A. y Delgado, C. (2024). La interdisciplinariedad en las tareas docentes integradoras de la disciplina Formación Laboral Investigativa. *Mendive*, 22(1), e3559. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-76962024000100007&script=sci_arttext
- Flores, L. J. y de la Rúa, M.J. B. (2024). Articulación del Ciclo Básico de formación aprovechando las potencialidades de un Instituto de Ciencias Básicas. *Revista Referencia Pedagógica*, 12(1), 28-42. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2308-30422024000100028&script=sci_abstract
- Garrido, M. y Sosa, M. (2018). Precipitación de sulfuros a partir de disoluciones carbonato amoniacales y ácidas. Monografía. Universidad Tecnológica de la Habana. Editorial Digital Universitaria, Cujae.
- Garrido, M., Sosa, M. y Pimentel, D. (2024). Profesionalización de la enseñanza de la Química-Física en la carrera de Ingeniería en Metalurgia y Materiales. *Revista Referencia Pedagógica*, 2(1), 168-182. scielo.sld.cu/pdf/rp/v12n1/2308-3042-rp-12-1-168.pdf
- López, L., Oconnor L, y Arcia, I. (2021). Problemas integradores en la formación del ingeniero en metalurgia y materiales. *Revista Referencia Pedagógica*, 9(2), 204-219.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2308-30422021000200204&script=sci_arttext
- Mariño, A., Garrido, M. y Díaz, J. (2021). Necesidad de valorizar el desarrollo del pensamiento lógico en la enseñanza de la ingeniería. *Revista Referencia Pedagógica*, 9(1), 3-14.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2308-30422021000100003&script=sci_arttext&tlng=en
- Ministerio de Educación Superior (2022). Resolución No 47/22: Reglamento del trabajo docente-metodológico. La Habana: MES
- Ministerio de Educación Superior (2018). Plan de Estudio E. Comisión Nacional de la Carrera de

**Modelo de ejercicio integrador para Química-Física I en Ingeniería en Metalurgia y Materiales.
Universidad Tecnológica de La Habana**

- Ingeniería en Metalurgia y Materiales. Modelo del profesional. La Habana: MES
- Ortiz, A. (2001). Las Competencias Profesionales del Ingeniero Mecánico. Una alternativa de Diseño Curricular [Tesis Doctoral en Ciencias Pedagógicas. Universidad de Oriente]. Santiago de Cuba.
- Paz, I. y Padrón, A (2020). La transformación curricular por competencias: una propuesta desde la integración y participación de los docentes. *Referencia Pedagógica* 8(2):235–250.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2308-30422020000200235&script=sci_arttext&tlng=en
- Pimentel, D. (2018). Química aplicada: Material de consulta para profesionalizar la asignatura en la carrera de Ingeniería Civil en la Universidad Tecnológica de la Habana. (Procesos formativos y desarrollo profesional). [Tesis de Maestría. Universidad Pedagógica Enrique José Varona]. La Habana.
- Rubio, I. (2018). La interdisciplinariedad en la gestión pedagógica, una tarea de los profesores de la universidad actual. *Boletín REDIPE*, 7(8), 89-97. <https://www.redipe.org/wp-content/uploads/2019/04/Libro-simposio-redipe-chile-2018.pdf#page=70>
- Salfrán, C. Figueredo Salfrán, y (2023). Orientaciones metodológicas para la evaluación integradora del aprendizaje. *Revista Maestro y Sociedad*, 20(2), 335-341.
<https://maestrosociedad.uo.edu.cu/index.php/MyS/article/view/6041>

Contribución de autoría

Los autores han colaborado en partes iguales, en todas las etapas del artículo.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Autores

Miguel Garrido Rodríguez. Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Auxiliar, Departamento de Química Básica. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría. Cuba

Mercedes Eulalia Sosa Martínez · Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Auxiliar. Departamento Metalurgia Química. Universidad de Moa Antonio Núñez Jiménez.

José M. Fernández. Profesor Asistente. Departamento de Química Básica. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría. Cuba

