



NATURALIS

BOLETÍN DE LA COORDINACIÓN DE
FÍSICA Y QUÍMICA

No. 25

Marzo de 2017

DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS



Contenido

1 Importancia de la Química en las Ciencias de la Tierra

Rogelio Soto Ayala

Javier Arellano Gil

Ana Laura Pérez Martínez

Noé Santillán Piña

José Luis Arcos Hernández

Importancia de la Química en las Ciencias de la Tierra

Introducción.

El conocimiento de la Química ha sido de trascendental ayuda en la evolución de la humanidad, ha dado la posibilidad de conocer mejor los fenómenos de transformación de la materia que se llevan a cabo y suceden a nuestros alrededores. Prácticamente no existe una actividad desarrollada por el hombre en la cual no esté involucrado algún concepto relacionado con ella.

En el contexto de la Facultad de Ingeniería, UNAM, la Química es una asignatura que se imparte actualmente en los primeros semestres de las carreras de Ingeniería, y como tal, pertenece al bloque de las Ciencias Básicas que debe conocer un Ingeniero Geólogo, Geofísico, Petrolero o de Minas y Metalurgia.

Por ejemplo, el entendimiento de la génesis de las rocas calcáreas es de gran importancia en las ingenierías relacionadas con las Ciencias de la Tierra, ya que en muchos casos se asocian con recursos naturales como el petróleo, el agua y los minerales. Sin embargo, es difícil trasladar lo aprendido en los primeros semestres de la carrera hacia los últimos o al ámbito laboral, debido a que los conceptos revisados en los cursos tradicionales de Química no redundan en las posibles aplicaciones en proyectos de ingeniería y los alumnos perciben la materia de una forma abstracta, lo que trae como consecuencia que no logren completamente el aprendizaje significativo, que no tengan motivación y que no se tengan los niveles óptimos de acreditación de la asignatura.

En las primeras etapas de los cursos de ingeniería, es un desafío para los profesores motivar a los alumnos a estudiar materias abstractas como la Química, pues las críticas sobre la falta de aplicación práctica de estas primeras disciplinas son habituales, debido a que los estudiantes tienen dificultades para establecer relaciones entre los conceptos que se ven en los cursos y su aplicación en la ingeniería. Sin embargo, es necesario crear situaciones cuyo objetivo sea generar en el alumno interrogantes e inquietudes que lo encaucen a tratar de entender mejor el fenómeno químico, mediante una reflexión profunda del mismo.

La química en la explotación del petróleo.

Uno de los principales compuestos usados y aprovechados por el ser humano es el petróleo, cuya palabra proviene del latín *petra* (piedra) y *óleum* (aceite) y físicamente es un combustible líquido que se encuentra en las rocas sedimentarias de la corteza terrestre. Dicha sustancia, naturalmente es un líquido viscoso, de color café oscuro y conocido también como aceite crudo, es, en realidad, una mezcla compleja de diversos elementos (oxígeno (O), azufre (S), nitrógeno (N), Carbono (C) e Hidrógeno (H); que constituyen compuestos químicos orgánicos (alcanos, ciclo-alcanos, alquenos), compuestos aromáticos, e inclusive también contiene metales como el hierro (Fe) y el níquel (Ni).

Existen diversas profesiones que están relacionadas con el petróleo, desde su exploración y explotación, hasta su refinación y transformación, para ser finalmente utilizado por la sociedad. Uno de los primeros profesionistas que está en contacto con el hidrocarburo es el Ingeniero Petrolero, el cual realiza como principales actividades la programación, la ejecución y la dirección de los procesos de explotación de hidrocarburos, agua y energía geotérmica, lo cual está vinculado fuertemente con conocimientos de Química, debido a que una vez que se ubica un yacimiento de petróleo, se debe analizar la composición química del mismo. Por este motivo, el ingeniero debe interpretar adecuadamente los resultados del análisis para elegir el método apropiado de explotación. Adicionalmente, cuando se está en el proceso de extracción, debe monitorearse continuamente la composición física y química del crudo para que, de ser necesario, se modifiquen las condiciones de operación.

El petróleo se encuentra en forma natural en yacimientos, los cuales se pueden definir como receptáculos naturales en el subsuelo con volúmenes porosos que contienen agua, petróleo y a veces una fase gaseosa. La proporción volumétrica del petróleo puede alcanzar hasta un 40 %.

Mediante la perforación de pozos se llega a los yacimientos para obtener el crudo, y dependiendo de las condiciones de presión y temperatura, se realiza la explotación del yacimiento, donde tradicionalmente existen dos periodos: recuperación primaria y recuperación secundaria. Sin embargo, desde la década de los 70's se ha desarrollado también la recuperación mejorada.

En la recuperación primaria se aprovecha la presión del yacimiento drenando el petróleo naturalmente. La durabilidad de este periodo es variable, pero siempre se lleva a cabo para obtener información del yacimiento. Esta etapa termina cuando la presión baja drásticamente o se empiezan a producir cantidades importantes de otros fluidos, como gas y agua. En esta etapa se puede recuperar desde el 5 % hasta el 20 % del crudo remanente, dependiendo del yacimiento.

Antiguamente se explotaba el yacimiento mediante recuperación primaria hasta que los gastos de explotación se volvían prohibitivos, en cuyo momento se pasaba a los métodos de recuperación secundaria. Hoy en día se inician las operaciones de recuperación secundaria mucho antes de llegar a este punto y el método de explotación a usar en un yacimiento o en una parte de un yacimiento obedece a criterios de optimización.

La recuperación secundaria consiste en inyectar dentro del yacimiento un fluido menos costoso que el petróleo para mantener un gradiente de presión. Estos fluidos se inyectan por ciertos pozos, llamados inyectoras, y desplazan o arrastran una parte del petróleo hacia los otros pozos productores. Hasta el principio de los años 70's, el bajo precio del crudo hacía que los únicos fluidos susceptibles de ser inyectados eran el agua, y en ciertos casos, el gas natural. El drenaje por agua permite elevar la recuperación del aceite desde un 15% hasta un 40 %.

Después de las recuperaciones primaria y secundaria, el yacimiento aún contiene en promedio un 72% de petróleo, el cual es muy deseable recuperar. Actualmente se utilizan otros métodos para poder explotar aún más el petróleo contenido en el yacimiento, ya sea por estar atrapado en los poros mediante la generación de fuerzas capilares o por la geometría misma del pozo que no es favorable para su explotación. Para estos casos, se utiliza la recuperación mejorada (Enhanced Oil Recovery, EOR), en la cual se inyectan otras sustancias diferentes al agua, con la intención de aumentar la recuperación final del crudo.

Entre los métodos cuyo propósito es mejorar la eficiencia del desplazamiento mediante una reducción de las fuerzas capilares, se encuentra el uso de disolventes miscibles con el crudo y el empleo de disoluciones de

surfactantes o disoluciones alcalinas, que favorecen bajas tensiones interfaciales. Para mejorar la eficiencia de barrido, se puede reducir la viscosidad del crudo mediante calentamiento, aumentar la viscosidad del agua con polímeros hidrosolubles, o taponar los caminos preferenciales (por ejemplo, con espumas).

Todas estas alternativas de la recuperación mejorada involucran fenómenos químicos que el Ingeniero Petrolero aprovecha para poder optimizar la producción del petróleo de un yacimiento.

Los métodos más usados en la EOR son principalmente térmicos y de inyección de agua con productos químicos. Los procesos químicos buscan mejorar la relación de movilidades entre el aceite y el agua, a través de la adición de productos químicos a este último componente. Algunos de estos procesos son:

Inyección de agua viscosa (polímeros): Su propósito es reducir la relación de movilidades agua-aceite, de tal manera que, si aumenta la viscosidad del agua y se aproxima a la viscosidad del aceite, la relación de movilidades baja y evita que el agua viaje por canales de mayor permeabilidad.

Para que una solución polimérica inyectada sea efectiva, debe permanecer estable por un periodo largo de tiempo a las condiciones del

yacimiento. Los polímeros son sensibles a degradaciones térmicas, químicas, mecánicas y microbianas. De éstas, las más severas son las debidas a la temperatura y a la salinidad, ya que se ha comprobado que las soluciones de macromoléculas pueden trabajar bien con degradaciones mecánicas y microbianas en los yacimientos. Los polímeros usados en estos procesos se clasifican de manera general en dos tipos: polímeros sintéticos y biopolímeros, siendo el polímero sintético más común la poliacrilamida y el biopolímero más común la xantana.

Métodos alcalinos: Consiste en la inyección en el yacimiento de disoluciones alcalinas, conocidas como bases en química por su pH superior a 7. Los más usados son el hidróxido de sodio (NaOH) y el carbonato de sodio (Na_2CO_3) con un pH entre 8 y 10. Estas disoluciones reaccionan con los ácidos orgánicos presentes naturalmente en los crudos, llevándose a cabo reacciones de neutralización, con lo cual se logra generar in situ las sales correspondientes (surfactantes naturales similares a los jabones) que traen como consecuencia directa mejoras en la movilidad del crudo a través del yacimiento y hacia los pozos productores.

El proceso de inyección de productos químicos alcalinos es un proceso relativamente simple comparado con procesos de inyección de otros fluidos y es económicamente atractivo.

Métodos de baja tensión: También conocido como desplazamiento micelar, es el proceso de recuperación mejorada en el que se inyecta un agente activo de superficie (surfactante) artificial. La composición de la mezcla inyectada normalmente incluye algunos (o todos) de los siguientes elementos: agua, hidrocarburos, alcoholes, polímeros y sales inorgánicas. Los mecanismos de remoción de aceite por este método incluyen:

- Reducción de la tensión interfacial aceite-agua
- Solubilización del aceite
- Emulsificación
- Mejoramiento de la movilidad

La recuperación mejorada busca disminuir los efectos adversos de los factores que generan el entrapamiento del aceite, mediante diferentes métodos. El objetivo de la inyección de químicos es mejorar la eficiencia de barrido volumétrico del agua de inyección para recuperar la fase de aceite discontinua que se encuentra atrapada en el medio poroso.

Precipitación y disolución del carbonato de calcio (CaCO_3).

Otra de las aplicaciones donde la Química está presente se refiere a las rocas carbonatadas (calizas y dolomías), que son abundantes rocas sedimentarias en la corteza terrestre, particularmente en las cuencas sedimentarias. Son muy importantes, ya que proporcionan información sobre la evolución que ha sufrido el

ambiente marino y el desarrollo de algunas formas de vida a través del tiempo, pero sobre todo porque en México se extraen de sus poros aproximadamente el 80 % de aceite y gas de los yacimientos petroleros. Constituyen un grupo relevante de rocas, ya que tienen importancia en la agricultura y a nivel industrial, por citar sólo algunos ejemplos. Debido a ello, su estudio y la interacción que tienen con su entorno es un tema obligado en Química.

Existen diversos parámetros a tomar en cuenta en la formación de rocas carbonatadas, ya que son múltiples los factores que controlan su naturaleza y distribución, entre los que destacan la saturación de sales en el medio y la temperatura, las variaciones del clima, el balance de CO_2 y la naturaleza de las corrientes locales, así como la turbidez y la profundidad. Las alteraciones en cualquiera de estos factores modifican la química del agua, y, por lo tanto, la precipitación de los carbonatos.

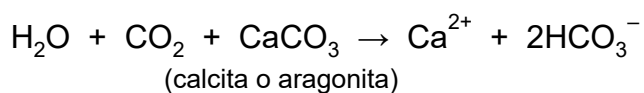
Los distintos iones CO_3^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , etc., a partir de los cuales se precipitan o se forman los distintos minerales carbonatados, se encuentran formando parte de disoluciones acuosas, como el agua de mar. La composición de esas disoluciones es uno de los factores que determina si en ellas puede o no precipitar un determinado mineral, existiendo diversos factores físico-químicos que controlan sus procesos de disolución y precipitación, por lo que es necesario que se tenga conocimiento de

conceptos químicos, como los tipos de iones presentes en el medio, el balance estequiométrico y las reacciones químicas que se llevan a cabo.

La importancia del estudio de las rocas calcáreas, reside en el hecho de que éstas pueden constituir materias primas para la construcción (agregados pétreos, cemento, cal, etc.), además de constituir potenciales rocas almacenadoras de hidrocarburos o agua, por lo que comprender su génesis coadyuvará a un mejor conocimiento del proceso geológico.

La disolución y precipitación de los minerales de carbonato de calcio (CaCO_3), calcita y aragonita, son controlados principalmente por el pH (medida de la acidez o alcalinidad de una disolución, que indica la presencia de iones hidronio, H_3O^+ , en dicha disolución), que a su vez es controlado por la presión parcial del dióxido de carbono disuelto en el agua.

El carbonato de calcio (calcita o aragonita) se disuelve con mucha facilidad en aguas que contienen gas carbónico disuelto (CO_2). En ambientes en los que las aguas saturadas de CO_2 liberan bruscamente este gas en la atmósfera, se produce generalmente la precipitación del carbonato de calcio en exceso según la siguiente reacción:



La precipitación está regida por el valor de la constante del producto de solubilidad del carbonato de calcio, así como de las condiciones de acidez de la disolución.

Como se observa en la reacción, la presión parcial del dióxido de carbono ejerce un efecto importante en la precipitación del carbonato de calcio. Cualquier factor que cause la pérdida de dicha sustancia debería, por el principio de Le Chatelier, favorecer la formación del precipitado.

Los dos principales mecanismos que pueden causar la pérdida de dióxido de carbono del agua son: el aumento de la temperatura y la disminución de la presión. Un aumento en la temperatura causa una disminución en la solubilidad del dióxido de carbono en el agua, y una disminución en la presión puede dar lugar también a la liberación de dicho gas.

Además de su efecto sobre la solubilidad del CO_2 , el aumento de la temperatura provoca una disminución en la solubilidad de los minerales de carbonato de calcio, es decir, el producto de solubilidad del carbonato de calcio disminuye al aumentar la temperatura. Disminución en la solubilidad significa que un mineral será más probable que precipite bajo un conjunto dado de condiciones. Por lo tanto, la formación de carbonato de calcio se ve favorecida en las zonas más tropicales del

océano, donde la temperatura del agua superficial puede llegar a casi 30 [°C], en comparación con las regiones polares, donde la temperatura es alrededor de 0 [°C].

La solubilidad de los componentes químicos se ve afectada también por la salinidad y la fuerza iónica del agua. La fuerza iónica es una función de la concentración de los iones en disolución y de sus cargas eléctricas, por lo tanto, la fuerza iónica aumenta a medida que aumenta la salinidad. La solubilidad de los minerales de carbonato de calcio se reduce notablemente cuando los valores de salinidad son bajos debido a la disminución de la fuerza iónica. Por lo tanto, la solubilidad del carbonato de calcio es varios órdenes de magnitud inferior en agua dulce que en agua de mar.

Es por ello que el ambiente de formación óptimo de los carbonatos marinos se da a una baja o mediana profundidad, en temperaturas cálidas, en donde las aguas tibias superficiales de las áreas tropicales están saturadas con carbonato de calcio, favoreciendo la formación de calizas por precipitación.

Fortalecimiento del aprendizaje significativo: “Química para Ciencias de la Tierra: Fundamentos y aplicaciones”

El libro “Química para Ciencias de la Tierra: Fundamentos y aplicaciones”, es un proyecto de profesores de Química y de Ciencias de la Tierra de la Facultad de Ingeniería, U. N. A. M.,

que pretende cubrir la necesidad de material bibliográfico actualizado, con teoría básica y ejercicios que permitan enriquecer el aprendizaje significativo de la Química en los estudiantes de las carreras de Ingeniería Geológica, Geofísica, Petrolera y de Minas y Metalurgia, apoyado con casos de aplicación, al disponer de ejemplos relacionados con la exploración y explotación eficiente de recursos naturales presentes en la corteza terrestre, pretendiendo que los egresados logren una formación más sólida y cuenten con los conocimientos, las habilidades y las herramientas necesarias para desarrollarse con éxito en su vida profesional.

El libro también servirá como fuente de consulta para ingenieros que se desempeñen en diferentes actividades profesionales de las Geociencias, quienes contarán con un libro de Química Aplicada, actualizado, en español, con información, ejemplos y casos prácticos de lo que ocurre y se aplica en la industria nacional.

El objetivo de la creación de este volumen es presentar, de manera sintética y clara, pero también precisa, los principales temas de química relacionados con las Ciencias de la Tierra, con ejemplos resueltos y casos de aplicación, tanto de química orgánica como inorgánica, que contribuyan a que los estudiantes de ingeniería logren un aprendizaje significativo, mejorando su formación profesional, para que al egresar tengan

mejores herramientas para realizar con éxito las actividades de búsqueda, explotación y comercialización de recursos naturales, actuando con responsabilidad social en el cuidado del medio ambiente.

Para la elaboración de los nueve capítulos que conformarán el libro “Química para Ciencias de la Tierra: Fundamentos y aplicaciones”, se cuenta con la colaboración de 20 destacados académicos de la Facultad de Ingeniería, U. N. A. M., quienes están organizados en cinco equipos de trabajo conformados por cuatro miembros cada uno (dos de la División de Ciencias Básicas y dos de la División de Ciencias de la Tierra). Ellos, realizaron y tienen programado realizar reuniones periódicas de trabajo colaborativo con el responsable del proyecto. Además, tienen planeado, entre otros aspectos: investigar en material impreso (como libros, revistas, etc.) y en internet información referente a los temas teóricos de química y sus aplicaciones en el campo de las Geociencias; elaborar textos claros y concisos para los temas de cada uno de los capítulos; analizar y simplificar ejemplos reales de aplicación, tomando como base información obtenida de proyectos realizados por la Facultad de Ingeniería para la industria pública y privada; elaborar las soluciones a las series de ejercicios propuestos; capturar en formato digital algunos textos; integrar, revisar, corregir, imprimir, presentar y difundir (dentro y fuera de la U. N. A. M.) la obra escrita; etc.

En cuanto al contenido, el ejemplar constará de los siguientes nueve capítulos:

- Estructura atómica
- Periodicidad química
- Enlaces químicos y fuerzas intermoleculares
- Teoría del orbital molecular y cristaloquímica
- Estequiometría
- Termoquímica y equilibrio químico
- Electroquímica
- Química orgánica
- Casos prácticos de química orgánica e inorgánica en las ingenierías de Ciencias de la Tierra

En la práctica docente se considera como una fortaleza la elaboración de materiales bibliográficos y didácticos, que contribuyan a mejorar la calidad de la enseñanza y el aprendizaje significativo de las asignaturas que forman parte de los planes de estudio vigentes, como es el caso de la asignatura de Ciencias Básicas denominada “Química de Ciencias de la Tierra”. En este sentido, esta obra contribuirá en el fortalecimiento del proceso de enseñanza-aprendizaje de los alumnos de la asignatura, mencionada anteriormente, con enfoque hacia las aplicaciones, proporcionando de manera concisa y clara, y en un mismo libro, los fundamentos químicos que la sustentan.

Por otro lado, es importante considerar que los libros y apuntes que se elaboran en la Facultad de Ingeniería, también son utilizados por estudiantes de otras universidades públicas y

privadas, donde se imparten carreras afines, por lo que la UNAM contribuye a la difusión del conocimiento y al desarrollo de México, labor que siempre la ha caracterizado.

Agradecimientos:

A la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA), por su valioso apoyo, y las facilidades económicas otorgadas para la realización de este proyecto PAPIME (PE103116).

A la Ing. Melanie Saraí Galván Rodríguez por su participación en la elaboración de este documento y al M. en C. Q. Alfredo Velásquez Márquez por las facilidades otorgadas para la difusión de este artículo.

Referencias

1. Albaréde, F. (2009). *Geochemistry: An Introduction*, Cambridge University Press, New York.
2. Breck, W.G., Brown, R.J.C., McCowan, J.D. (1991). *Química para Ciencia e Ingeniería*. Compañía Editorial Continental, México.
3. C. F. Herreid (1994). Case studies in science: a novel method for science education. *Journal of College Science Teaching*, 23 (4), 221-229.

4. G. Torres Ch. (2010). El estudio de casos y su aplicación en el curso introducción a la Ingeniería mecánica en la universidad tecnológica de Pereira. *Scientia et Technica*, 44 (16), 55-60.
5. Boletín del departamento de física y química (2004). *La física en la Ingeniería*. División de Ciencias Básicas. Facultad de Ingeniería. UNAM. http://dcb.fi-c.unam.mx/Publicaciones/Naturalis/bfyq_2.pdf
6. Misra, K.C. (2012). *Introduction to Geochemistry, Principles and Applications*, Wiley-Blackwell.
7. Boggs, Sam Jr., 2012. *Principles of Sedimentology and Stratigraphy*. Prentice Hall. Fifth Edition. 585 pp.
8. Flugel Erik, 2004. *Microfacies of Carbonate Rocks Analysis, Interpretation and Application*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Alemania. 976 pp.

Rogelio Soto Ayala

rsoto54@hotmail.com

Javier Arellano Gil

arellano@unam.mx

Ana Laura Pérez Martínez

analaura.pmtz@gmail.com

Noé Santillán Piña

noesant@unam.mx

José Luis Arcos Hernández

jlarcos@hotmail.com

Profesores de la Facultad de Ingeniería, UNAM

El contenido de los artículos publicados en este boletín es responsabilidad exclusiva de los autores.

Dudas o comentarios: velasquez777@yahoo.com.mx

Editor: M. en C. Q. Alfredo Velásquez Márquez