

Propuesta de estructura para educación incluyente en ingeniería - Caso: corrosión

Structure proposal for engineering education Case: corrosion

Myriam Moreno Amado

Facultad de Ingeniería
Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Carrera 7° # 40B-53 – Bogotá (Colombia)
moamy2002@yahoo.com.mx

Resumen

En el presente trabajo se utilizan los motores de búsqueda de información (Google) y de videos (Youtube), para seleccionar los primeros sitios web que explican el concepto corrosión. Se pretende analizar la información encontrada para determinar consensos e identificar palabras con el fin de elaborar una propuesta constructiva de estructura para la educación incluyente en ingeniería. Este trabajo es una propuesta de mejora y de ajuste a las nuevas formas de divulgación y de comunicación de la información que surge después de detectar, en los estudiantes de la actualidad, un incremento de sus falencias conceptuales y dificultades en la comprensión de distintas temáticas que se desarrollan en los cursos relacionados con química, fisicoquímica y procesos químicos.

Se encontró que en los sitios de comunicación y en los libros de texto existen diferentes términos para definir el concepto de corrosión, y algunos de estos son considerados, por principiantes, como básicos, desconociendo que se requiere un bagaje conceptual muy amplio en física, química, fisicoquímica y electroquímica. Se propone una estructura de enseñanza simple con el fin de reorganizar la información que será divulgada en los medios, recurso que, además de los estudiantes en educación formal, están utilizando los individuos que por algún motivo abandonaron su proceso formativo o aquellos que en edades adultas ingresan por primera vez a un proceso formativo y que están interesados en aprender estas temáticas, denominadas “duras”.

Palabras clave: Corrosión, Autoaprendizaje, Estructura de aprendizaje.

Abstract

In the present work, the search engines for information (Google) and videos (Youtube) are used to select the first websites that explain the concept of corrosion. It is intended to analyze the information found to determine consensus and identify words that help to develop a constructive proposal of structure for inclusive education in engineering. The present work is a proposal for improvement and adjustment to new forms of information dissemination and communication. This work arises after detecting, in current students, an increase in their conceptual flaws and difficulties in understanding different topics that are developed in courses related to chemistry, physicochemistry and chemical processes.

It was found that in the communication sites and textbooks there are different terms to define the concept of corrosion, and some of these are considered, by beginners, as basic, not knowing that a very broad conceptual background in physics, chemistry, physicochemistry and electrochemistry. A simple teaching structure is proposed in order to reorganize the information that will be disseminated in the media, a resource that, in addition to students in formal education, are using for individuals who for some reason abandoned their training process or those who are in adulthood they enter for the first time a formative process and they are interested in learning these topics, called “hard”.

Palabras clave: Corrosion, Self-learning, Learning structure.

1. Introducció

La corrosió no sempre es negativa, existeixen inhibidors que són òxids metàl·lics. Sin embargo, este fenómeno tan antiguo y ampliamente estudiado, aún muestra, para las distintas poblaciones, evidentes problemas económicos causados por su aparición. Es bien conocida la degradación de algunos materiales metálicos, que son utilizados en diferentes sectores industriales, los metales que son expuestos a distintos ambientes corrosivos se deterioran. Además, se ha demostrado que se invierte demasiado dinero en prevención y control de corrosión, esto incluye el mantenimiento de estructuras, puentes y medios de transporte; un ejemplo es la “inversión” que hizo México en el año 1999 por un valor de \$52'000.000 de pesos mexicanos para la compra de inhibidores de corrosión en la industria petrolera (Cabrera-Sierra *et al.*, 2007). También en los Estados Unidos, se ha estimado que el costo de los daños causados por corrosión de los materiales es en promedio un 3% del producto interno bruto de la nación, esto corresponde a aproximadamente US \$ 276 mil millones (Singh, 2014, NACE International, 2002).

Las investigaciones y publicaciones sobre ciencia e ingeniería de corrosión son de gran importancia para ayudar a los autodidactas y para apoyar nuevas investigaciones, porque adicional a la problemática económica, se deben mantener esfuerzos para aprender e investigar problemas de seguridad y problemas ambientales causados directa o indirectamente por este fenómeno. Evitar por ejemplo, el derrame de sustancias que se encuentren almacenadas en recipientes susceptibles de deterioro por corrosión; evitar la emisión de sustancias metálicas producto de corrosión y reducir la posibilidad de accidentes por caída de puentes o de estructuras debido al deterioro de materiales. La importancia de esta temática hace que se abarque desde distintas disciplinas de la ingeniería. Se encuentran investigaciones relacionadas con química, materiales, mecánica, civil, metalurgia, farmacia, alimentos, electricidad, electrónica, forestal y administración las cuales enfocan sus esfuerzos de acuerdo a la disciplina académica para identificar los efectos corrosivos y económicos ocasionados por el ambiente al que están expuestos diversos materiales (Aperador *et al.*, 2010, Lara *et al.*, 2007, Bastidas *et al.*, 2006).

Por otro lado, estamos viviendo un periodo de globalización en el cual los desarrollos científicos y tecnológicos se divulgan muy fácil y continuamente. La información divulgada presenta las orientaciones y el vocabulario propios de cada disciplina. El uso de distintos términos para explicar un mismo fenómeno hace que el proceso de aprendizaje requiera tiempo adicional para interpretar la información desde el contexto presentado, lo que posiblemente conduce a desmotivación por parte de los estudiantes que por primera vez abordan estos estudios, siendo ésta, otra causa de abandono de su proceso académico (Moreno y Sanabria, 2005), (Gellings, 2018). Este problema de desmotivación puede ser más evidente para los estudiantes que por algún motivo abandonaron estudios y luego decidieron retomar su proceso académico sin orientación. Por lo tanto, para que la educación sea incluyente existe una necesidad de revisar y reestructurar las temáticas y los conceptos fundamentales en ciencias e ingeniería que se divulgan en el siglo XXI (Buntrock, 2014), y para garantizar el rigor científico, son los investigadores en ciencia, tecnología e ingeniería los encargados de apoyar estas modificaciones académicas.

Una revisión somera a los estándares curriculares de educación básica, en España y Colombia, evidencian que la temática relacionada con corrosión se enseña desde primaria. En estos documentos se identifica, solamente, la tendencia a enseñar el fenómeno químico y la reacción química (Moreno y Sanabria, 2005), (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2014). Sin evaluarlos como buenos o malos, estos estándares académicos y las estructuras curriculares siempre son susceptibles de mejora. Por lo tanto los procesos de calidad pueden direccionar su trabajo hacia el mejoramiento continuo de la educación, basados en análisis de resultados académicos y en la calidad de los profesionales e investigadores que se encuentran en el medio laboral. Los profesionales e investigadores del siglo XXI serán el apoyo para los emprendedores, técnicos y operarios y así encaminar el cumplimiento de los diecisiete objetivos de desarrollo sostenible (ODS) que planteó la Organización de Naciones Unidas (ONU).

Debido a que el fenómeno natural de la corrosión se estudia desde los primeros niveles de educación básica y que se investiga desde distintas disciplinas, es común encontrar bastante información relacionada con este importante tema. Una de las formas más ágiles para encontrar información es el uso de los motores de búsqueda de páginas web desde los cuales se encuentran videos, documentos, resúmenes, presentaciones y libros de texto. Una revisión sistemática de la información relacionada con el concepto corrosión muestra la necesidad de organizarla y de proponer una estructura para su aprendizaje. Esto con el fin de que cualquier individuo interesado y que por primera vez aborda la temática, conozca los niveles de aprendizaje y los conceptos previos requeridos para así determine el tiempo mínimo que requerirá para su proceso académico. También se busca que los estudiantes en condiciones normales de aprendizaje se motiven y despierten el interés por aprender y entender este fenómeno que tantos problemas económicos y accidentes ha causado a las sociedades y a la economía.

Con la siguiente propuesta, se pretende elaborar un modelo de estructura de enseñanza de las ciencias, que direcciona los lineamientos y estándares curriculares fundamentando como caso de estudio la temática relacionada con el concepto corrosión. Adicional a la metodología se sugiere que futuros trabajos incluyan el estudio de la legislación nacional sobre enseñanza para que los libros de texto sean actualizados y así lograr el engranaje con las temáticas sugeridas. Se pretende reorganizar las temáticas de enseñanza-aprendizaje para facilitar la comprensión y desarrollar conocimiento desde niveles básicos de educación hasta llegar a una fundamentación teórica sólida en los niveles avanzados de ingeniería (Shulman, 2005). Con esta propuesta se pretende, también, aportar a las investigaciones relacionadas con problemáticas de aprendizaje de ciencias y con recursos didácticos (Gómez y Lavín, 2016).

2. Metodología

Este trabajo forma parte de la investigación: “Propuesta de estructura para el proceso educativo de la ingeniería en el siglo XXI” que la autora realiza en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Para el caso de estudio se realizó una consulta exhaustiva de publicaciones relacionadas con el concepto corrosión, con esto se pretende caracterizar la información e identificar alguna correlación conceptual con base en lo cual se hace la propuesta de estructura. A continuación se explican estos aspectos metodológicos.

2.1. Selección y consulta de publicaciones

La selección y consulta de publicaciones se divide en dos partes, la primera una revisión de aspectos históricos generales y la segunda una revisión sistemática en la cual se buscaron las 10 primeras páginas que con la palabra corrosión se consideran son de mayor consulta desde el motor de búsqueda Google, los 5 primeros videos que con la palabra corrosión se presentan desde el buscador Youtube, y siete libros que se seleccionaron con base en los niveles actuales del proceso enseñanza-aprendizaje. Se identificó la temática para los cursos: química general, electroquímica, fisicoquímica, ciencia de materiales y corrosión. Además, se buscaron publicaciones seleccionadas desde la base de datos de Science Direct. Para este caso, se escogieron los primeros cinco artículos mostrados después de digitar la palabra “corrosion”.

2.2. Recopilación de la información

Se elaboró un instrumento de clasificación (Tabla 1) en el cual se registró la información general encontrada en los documentos consultados. Esta información básica es utilizada para caracterizar los niveles conceptuales requeridos y posterior propuesta de la estructura para el proceso enseñanza-aprendizaje. La información que inicialmente se encuentra es la definición o concepto, por lo tanto es la primera columna en el instrumento. Las teorías o modelos teóricos que explican la corrosión se relacionan inicialmente con química (Q), electroquímica (EQ) y fisicoquímica (FQ), por lo tanto la

segunda columna del instrumento se usa para identificar cuál de estos trata el documento seleccionado. También es común encontrar información relacionada con tipos de corrosión, causas, medición y prevención. En el instrumento se debe marcar cuáles fuentes de consulta incluyen (ok) o no incluyen (-) la información. Esta primera recopilación de información agiliza luego el seguimiento para la caracterización.

Identificación de la fuente de consulta	Aspectos Generales identificados							
	Definición / concepto	Aspectos teóricos ¹			Tipos de corrosión	Factores / causas	Medición	Prevención
		Q	EQ	FQ				

Tabla 1: Instrumento para recopilar la información que se encuentra en documentos relacionados con corrosión

2.3. Caracterización en niveles conceptual

Para la caracterización conceptual, se elaboró un segundo instrumento textual en el cual se registran los términos identificados para comunicar la información relacionada con corrosión. Esta terminología debe ser analizada para establecer los fundamentos teóricos que serán necesarios para la interpretación y comprensión de dichos términos. Por ejemplo, se lee que “corrosión es un fenómeno natural que se lleva a cabo por la pérdida de electrones”. Primero, identificar el significado del concepto fenómeno para las ciencias naturales. Segundo, entender que existe un modelo atómico en el cual existen electrones y que estos se pierden, requieren fundamentación básica de física y química sobre modelos atómicos. Además, la explicación de modelo atómico debe ser analizada desde otra estructura de enseñanza de las ciencias.

2.4. Propuesta de estructura

Por último, con base en información teórica fundamental encontrada en los documentos, y con la clasificación conceptual, se elabora la propuesta para el proceso enseñanza-aprendizaje del tema corrosión. Los niveles de aprendizaje propuestos para corrosión están basados en el patrón básico investigado, para geometría, por los holandeses Dina Van Hiele-Geldof y Pierre Van Hiele (Jaime y Gutiérrez, 1990); en el cual los autores presentaron cinco niveles para el razonamiento de los estudiantes, empezando por el nivel cero que corresponde al reconocimiento concreto de los objetos, se avanza por niveles que corresponden a análisis, clasificación y deducción hasta llegar al nivel cuatro donde se presentan los aspectos abstractos como axiomas. Para la presente propuesta se jerarquizan cuatro fases, las cuales comienzan con un conocimiento concreto del fenómeno del mundo físico o químico, luego se abordan los conceptos abstractos en los cuales se explica la corrosión desde modelos matemáticos y químicos iniciales (llamado análisis teórico) y después de un estudio formal del aprendizaje, se pueden abordar otros modelos matemáticos, químicos, electroquímicos y fisicoquímicos más específicos con el fin de reproducir el fenómeno y para analizar resultados de investigación.

3. Resultados

3.1. Aspectos históricos generales sobre la corrosión

Aunque los estudios arqueológicos indican que en épocas prehistóricas, como la edad de bronce, se manipularon metales para la producción de artefactos (Lull *et al.*, 1992) en estos documentos no evidencian estudios científicos acerca de la corrosión. El hecho de obtener metales a partir de minerales indica el manejo de, las actualmente conocidas, reacciones de reducción, sin embargo no se evidencian

publicaciones sobre las reacciones químicas relacionadas con reducción ni la reacción inversa de corrosión.

Se puede atribuir a Lavoisier el inicio de estudios generalizados sobre reacciones químicas (Lavoisier, 1775), quien descubrió el originalmente denominado “dephlogisticated air”, actualmente conocido como oxígeno, el cual fue identificado como un componente del aire. Adicionalmente, se encuentra que Lavoisier hizo la primera publicación científica sobre corrosión denominando a los óxidos metálicos “metallic calces” y presentado como un misterio de la reacción de reducción de dichos óxidos metálicos. Posteriormente, en el año 1820, el término corrosión también fue utilizado en una publicación sobre anatomía del cuerpo humano, en la cual, Bonélls y Lacaba (Bonélls y Lacaba, 1820) explicaron la forma de disecar arterias y venas utilizando inyecciones metálicas y preparaciones anatómicas por corrosión. Adicionalmente, en el año 1850 se encontró un reporte experimental acerca de una investigación sobre corrosión de barras ferroviarias, en el cual se presentó un análisis sobre la corrosión en el aire y en el agua (Mallet, 1850). También se encontraron trabajos sobre corrosión de hierro debido a acción eléctrica, entre ellos un reporte de Barker, William M.D. en el año 1836 (Barker, 1836) y por último, en libros de texto para la instrucción primaria elemental y superior primaria evidencian que en el año 1844 ya se enseñaba la corrosión y las reacciones químicas (Avendaño, 1844).

La corrosión se concibió, inicialmente, como un fenómeno de deterioro de metales. Sin embargo, en las actuales investigaciones y los desarrollos tecnológicos modernos, han demostrado que los procesos de corrosión se llevan a cabo de distintas formas y puede medirse con distintos métodos. Para conocer el fenómeno, se requiere el análisis de distintas variables como el tipo de metal, su composición, proceso de obtención, efectos térmicos y/o mecánicos durante su uso, existencia de tensiones internas o externas, efecto del ambiente químico y otras (Albella, 2003). Sin embargo, a pesar de los esfuerzos actuales en investigación, las problemáticas relacionadas con los efectos de la corrosión crecen y se crea una, aparente, brecha entre las temáticas estudiadas y los problemas reales actuales. Será un reto, para la formación de ingenieros del siglo XXI, reducir la brecha y apoyar a la sociedad para que se reconozca la importancia de continuar estudios a nivel avanzado.

3.2. Publicaciones seleccionadas

Los documentos encontrados, según la metodología propuesta, son mostrados en las Tablas 2 - 4 y se distribuyen de la siguiente manera; la Tabla 2 presenta las primeras 10 páginas web encontradas desde el motor de búsqueda Google, después de digitar la palabra corrosión. En la Tabla 3 se presentan las direcciones URL de los 5 primeros videos Youtube encontrados después de digitar la palabra corrosión y por último, en la Tabla 4 se registran las fuentes bibliográficas comunes de las áreas química general, electroquímica, fisicoquímica, corrosión y ciencia de materiales.

Identificación de la fuente de consulta	Dirección URL
G1	https://es.wikipedia.org/wiki/Corrosi%C3%B3n
G2	https://conceptodefinicion.de/corrosion/
G3	http://www.unilibre.edu.co/revistaingenioliberal/revista5/articulos/Conceptos-basicos-de-la-corrosion-2.pdf
G4	http://hipotesis.uniandes.edu.co/hipotesis/images/stories/ed04pdf/Corrosion.pdf
G5	https://www.ecured.cu/Corrosi%C3%B3n
G6	http://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v28n3/0379-3982-tem-28-03-00127.pdf
G7	http://www.nervion.com.mx/web/conocimientos/anticorrosivos.php
G8	http://blog.utp.edu.co/metalografia/9-principios-de-corrosion/
G9	https://www.bricolemar.com/blog/como-evitar-corrosion/
G10	https://www.pintuco.com.co/blog-pintuco/a-la-medida/la-corrosi%C3%B3n-afecta-estructuras-de-metal

Tabla 2: Primeras diez (10) páginas web encontradas durante la búsqueda del término corrosión

Identificación de la fuente de consulta	Dirección URL
Y1	Maravillas modernas – Corrosión y descomposición. https://www.Youtube.com/watch?v=-5Xcm5M6ZkQ Video subido por Juan Orea el 26 de sept de 2017. Aprox. 30 minutos
Y2	https://www.Youtube.com/watch?v=uWh37LMJjT0 aprox. 10 minutos
Y3	https://www.Youtube.com/watch?v=u9H9a5j1GZw aprox. 9 minutos
Y4	https://www.Youtube.com/watch?v=gaTJnfWfoQw aprox. 24 minutos
Y5	https://www.Youtube.com/watch?v=avzPKZzqv6k aprox. 25 minutos

Tabla 3: Primeros cinco (5) videos desde Youtube, encontrados con la palabra corrosión

Identificación de la fuente de consulta	Autor	Título	Referencia
L1	Brown, Theodore L. et al	Química, la ciencia central	(Brown, LeMay, Bursten, & Murphy, 2009)
L2	Masterton William, Hurley Cecile	Química, principios y reacciones	(Masterton & Hurley, 2003)
L3	Dominguez, Manuel Ma.	Electroquímica, cuestiones y problemas	(Dominguez, 2000)
L4	Ball, David W.	Fisicoquímica	(Ball, 2004)
L5	Jones, Denny A.	Principles and prevention of corrosion	(Jones, 1996)
L6	During, D.D.	Corrosion Atlas, a collection of illustrated case histories	(During, 2018)
L7	Callister, William	Fundamentals of Materials science and Engineering–An integrated approach (ch. 16)	(Callister, 2012)

Tabla 4: Libros de texto seleccionados para analizar la información relacionada con corrosión

3.3. Información recopilada

En general, se encontró que los documentos seleccionados, presentan la definición de corrosión, aunque difieren en identificar si es una reacción química, una reacción electroquímica, un fenómeno, un deterioro o un proceso. También se encuentran diferencias entre las causas de la corrosión, por ejemplo que se debe a un ataque del entorno o iones en el entorno. A manera de resumen, en la Tabla 5 se muestran los aspectos que se han identificado presentes (ok) en cada uno de los documentos seleccionados, para el caso de no encontrar la información en el documento analizado, se marcará con un guion (-) en la casilla correspondiente. Con esta información no se pretende un estudio estadístico, únicamente se hará una revisión cualitativa para luego identificar aspectos conceptuales requeridos para su aprendizaje.

Con la lectura inicial se encontró que no hay consenso al definir el término o concepto corrosión, también se encuentra que no todos los documentos analizados presentan una definición de corrosión. En el libro de fisicoquímica analizado (Ball, 2004) no hay definición de corrosión, sin embargo el autor trata el tema de la reacción de oxidación (REDOX) y obviamente por el nivel del libro, se asume evidente que la corrosión es una oxidación. El autor introdujo el término en un ejemplo, para hallar potencial estándar de la reacción para obtener iones férricos a partir de hierro metálico, y en este indica que el producto se denomina herrumbre; en párrafos posteriores usa el término corrosión, de forma evidente.

A continuación se presenta, de forma más detallada, la información como un listado de términos que se encuentran en los documentos seleccionados, y donde se explica el concepto corrosión. Es importante precisar que en los documentos para cursos avanzados como electroquímica, fisicoquímica y corrosión no se retoma información básica y esta deberá ser estudiada siguiendo una estructura para la educación, de tal manera que los estudiantes autodidactas apropien el conocimiento en forma planeada.

Identificación de la fuente de consulta	Aspectos Generales identificados							
	Definición / concepto	Aspectos teóricos ¹			Tipos de corrosión	Factores/causas	medición	Prevención
		Q	EQ	FQ				
G1	ok	-	-	-	ok	ok	-	ok
G2	ok	-	-	-	-	ok	-	-
G3	ok	-	-	-	ok	ok	-	ok
G4	ok	-	ok	-	ok	ok	-	ok
G5	ok	-	-	-	ok	ok	-	-
G6	ok	-	ok	-	ok	ok	-	ok
G7	ok	ok	ok	-	-	ok	-	ok
G8	ok	ok	-	-	ok	ok	-	ok
G9	ok	-	-	-	ok	ok	-	ok
G10	ok	-	-	-	ok	-	-	ok
Y1	ok	-	ok	-	-	ok	-	ok
Y2	ok	ok	ok	ok	-	ok	ok	-
Y3	ok	-	ok	-	ok	ok	-	ok
Y4	ok	ok	ok	-	ok	ok	ok	-
Y5	ok	-	ok	-	ok	ok	ok	-
L1	ok	ok	ok	ok	-	ok	-	ok
L2	ok	ok	ok	ok	-	ok	ok	-
L3	-	-	ok	ok	-	ok	ok	ok
L4	ok	ok	ok	ok	-	ok	ok	-
L5	ok	ok	ok	-	ok	ok	ok	ok
L6	ok	ok	ok	ok	ok	ok	-	ok
L7	ok	-	ok	-	ok	ok	ok	ok

Tabla 5: Aspectos identificados, sobre corrosión, en los documentos seleccionados

3.3.1. Concepto corrosión y aspectos teóricos

En la Tabla 6 se presentarán los términos característicos que se encuentran en cada uno de los documentos para definir el término corrosión y para explicar aspectos teóricos relacionados con química, electroquímica o fisicoquímica de la corrosión.

Un primer aspecto de análisis respecto al concepto corrosión es la falta de consenso para su definición, por ejemplo, si la corrosión es una reacción química (REDOX), debería cumplir el principio de conservación de la energía, lo cual no es evidente cuando en la definición se utilizan los términos: “pérdida”, “deterioro”, “degradación” o “destrucción”, estos términos se manejan desde lo concreto, para explicar de forma general las modificaciones morfológicas que sufre el material, pero son términos que deben ser corregidos por expertos. Se sugiere que el concepto de corrosión sea definido y publicado, por la comunidad científica, en documentos estándar del siglo XXI los cuales serán utilizados por neófitos interesados en aprender esta amplia disciplina, además esta definición debe ser estructurada para que desde niveles básicos de educación se empiece a conocer este “fenómeno” de manera sencilla y así motivar su estudio e investigación.

Al analizar los demás términos identificados en los documentos seleccionados para definir la palabra corrosión, se identificaron 6 grupos que se clasificaron por similitudes en la explicación: primero se agruparon los términos relacionados con el efecto final: deterioro, destrucción, desintegración y erosión; segundo se agruparon los términos relacionados con la transformación: ataque, proceso, reacción química, reacción electroquímica, oxidación, transferencia química; tercero se agruparon los términos relacionados con el proceso fisicoquímico: estabilidad, regreso a estado natural, espontaneidad; cuarto se agruparon los términos relacionados con la causa: material, impacto y entorno; quinto, solamente el

¹ Aspectos teóricos químicos (Q), electroquímicos (EQ) o Físicoquímicos (FQ)

término es fenómeno y relaciona la situación concreta; por último se agrupan los términos que requieren conocimiento electroquímico: potencial energético, electricidad, iones, valencia, ánodo, cátodo.

Identificación de la fuente de consulta	Términos encontrados para definir corrosión/para explicar aspectos teóricos
G1	Deterioro, ataque, buscar mayor estabilidad, reacción química, reacción electroquímica, fenómeno que afecta, problema industrial.
G2	Reacción química de metal con oxígeno, deterioro, impacto electroquímico, proceso.
G3 ²	Deterioro, destrucción, reacción química, reacción electroquímica, proceso, regreso a su estado natural.
G4	Fenómeno espontáneo, materiales procesados, oxidación acelerada, degradación, fenómeno de naturaleza electroquímica.
G5	Destrucción, oxidación, proceso electrolítico, electrolito, proceso de oxidación, destruir (disolver).
G6	Fenómeno, proceso de deterioro, reacciones químicas, reacciones electroquímicas, menor potencial energético.
G7	Destrucción, desintegración, materiales, proceso electroquímico con el medio, proceso de erosión con el medio.
G8	Deterioro, ataque químico, entorno.
G9	Deterioro, reacciones químicas, metales.
G10	Del latín "corrodere" roer las piezas. Fenómeno, transformación, reacciones químicas con el medio, reacciones electroquímicas con el medio, deterioro del elemento, deterioro de las propiedades.
Y1	Reacción química natural, nivel atómico, electricidad, intercambio de electrones, iones, óxidos.
Y2	Reacción de oxidación y reacción de reducción, valencia, cátodo, ánodo, disolución, electrones.
Y3	Añadir oxígeno, voltaje de corrosión
Y4	Reacción química, reacción electroquímica, material metálico, medio que rodea (medio agresivo), forma iónica del metal, termodinámicamente estable.
Y5	Proceso destructivo, interacción química, interacción electroquímica, ambiente, proceso irreversible.
L1	Proceso de oxidación, compuesto metálico, reacción, metal, sustancia del entorno, pérdida de electrones, cationes, ataque, ácidos, compuesto iónico, reacciones oxido-reducción indeseables, reacción espontánea, convertir en compuestos, proceso termodinámicamente favorable, óxidos impermeables, herrumbre.
L2	Sufrir corrosión en contacto con la atmósfera, reacción de metales con oxígeno, vapor de agua o dióxido de carbono, reacción, zonas anódicas, zonas catódicas, transferencia de electrones, iones, célula voltaica, circuito eléctrico.
L3 ³	-
L4	Transferencia de carga, reacción de oxidación, reacción de reducción, potencial eléctrico, fuerza electromotriz, semirreacciones, electrodos.
L5	Destrucción reacciones químicas, metal, aleación, ambiente, estado combinado del metal, compuestos químicos, minerales.
L6	Reacción química, reacción electroquímica, metal, ambiente, deterioro del material, deterioro de propiedades, ataque, ambiente conductor de iones, electrolito, transporte de corriente eléctrica.
L7	Deterioro, pérdida de material por disolución (corrosión), formación de una capa no metálica (oxidación), ataque destructivo de un metal, ataque involuntario de un metal, ataque electroquímico superficial, proceso.

Tabla 6: Términos característicos encontrados para definir y para explicar aspectos teóricos, relacionados con el concepto corrosión, en los documentos seleccionados

Por lo tanto, se podría sugerir que para definir el término corrosión se tenga en cuenta la situación concreta (fenómeno), la transformación, las causas, el efecto y por último se elabore una explicación científica desde química, fisicoquímica y electroquímica. Respecto al concepto "fenómeno", este se usa porque la corrosión se manifiesta como una situación perceptible en la dimensión consciente de las personas. Sin embargo, es necesario que en los documentos científicos para los procesos enseñanza-aprendizaje se indique la definición del término fenómeno.

² el autor evidencia la existencia de varias definiciones que se encuentran en la literatura.

³ en el capítulo VI titulado "Algunas aplicaciones industriales de la electroquímica", sección VI.1. "Corrosión metálica", el autor no presenta, específicamente, una introducción para definir el concepto de corrosión, inicia con ejercicios. Obviamente, la temática de electroquímica que se trata en los demás capítulos del libro incluye las interacciones iónicas de las reacciones REDOX.

3.3.2. Tipos de corrosión y factores

En la Tabla 7 se presentarán los términos característicos encontrados en cada uno de los documentos para identificar los tipos de corrosión y las condiciones o factores de ocurrencia de este fenómeno.

Identificación de la fuente de consulta	Términos encontrados para identificar tipos de corrosión y factores
G1	Corrosión química (4 aspectos: ataque por metal líquido, lixiviación, disolución y oxidación, ataque de polímeros), corrosión electroquímica (8 aspectos: celdas de composición, celdas de esfuerzo, por oxígeno, microbiológico, por presiones parciales, galvánica, por heterogeneidad y por aireación superficial). Factores: Pieza manufacturada, ambiente, agua.
G2	Factores: Alto impacto electroquímico, exposición al agente oxidante, temperatura.
G3	7 tipos de corrosión (uniforme, localizada, ataque selectivo, agrietamiento, erosión, galvánica, por altas temperaturas). Causas: Oxígeno, agua, temperatura, composición química.
G4	6 tipos "más comunes" (uniforme, por esfuerzos, galvánica, por picaduras, intergranular, por hendiduras). Naturaleza del ambiente corrosivo, características composicionales.
G5	3 tipos de corrosión (Uniforme, local, intercrystalina). Factores: Altas temperaturas, acidez.
G6	7 tipos (Uniforme, localizada, galvánica, combinado con fenómenos físicos, desaleación, filiforme, oxidación). Factores: acidez, sales disueltas, capas protectoras, concentración de oxígeno, temperatura, velocidad de flujo.
G7	Factores: Presencia de electrolito, diferencias en estructuras cristalinas, restos de escoria.
G8	4 tipos de corrosión (uniforme, localizada, electroquímica, pila galvánica). Factores: temperatura, salinidad del fluido, propiedades de los metales.
G9	3 tipos de corrosión (general, localizada, galvánica). Causa humedad.
G10	En la página web se encuentran dos clasificaciones: una de acuerdo al proceso, en la cual se identifican 5 tipos de corrosión (Bacteriana, Galvánica, corrosión-erosión, química y electroquímica) y otra clasificación de acuerdo a su morfología (uniforme, intergranular, por picadura).
Y1	Factores: agua salada, elementos ambientales, sales para fundir la nieve.
Y2	Factores: Medio ácido, medio básico, oxígeno disuelto.
Y3	2 Tipos (Húmeda y galvánica). Factores: presencia de aire, temperatura, paso de corriente eléctrica, agua de mar.
Y4	3 tipos de corrosión (directa o seca, electrolítica, morfológica de ataque). Causas: temperatura, electrolito, heterogeneidad del medio.
Y5	Clasificación en 3 grupos (Identificables por inspección visual, identificables con herramientas de inspección especial, identificables con microscopio). Factores: naturaleza del material, presencia de inclusiones, homogeneidad, medio corrosivo, factores ambientales, esfuerzos residuales, presencia de poros, efectos galvánicos.
L1	Factores: pH, presencia de sales, contacto con otros metales, esfuerzos soportados por el metal.
L2	Factores: agua salada, existencia de partículas.
L3	Factores: densidad de corriente eléctrica, pH, concentración de disoluciones, contenido de oxígeno.
L4	Factores: temperatura, concentración y presión.
L5	8 Tipos (Uniforme, galvánica, hendidura, picadura, craqueo inducido por ambiente, daño por hidrógeno, intergranular, corrosión-erosión).
L6	2 tipos (Uniforme y localizada). Clasifica en dos tipos de material (aceros al carbón y aceros inoxidable/no ferrosos) y subclasifica en dos variables (por sistemas y por fenómeno). Más de 25 tópicos de corrosión (cavitación, erosión-corrosión, exfoliación, fatiga, alta temperatura, microbiológica, etc).
L7	8 Tipos (Uniforme, galvánica, hendiduras, picaduras, intergranular, eliminación selectiva, erosión-corrosión, bajo tensiones y para discusión: fragilización por hidrógeno). Causas: factores ambientales, acidez, temperatura, concentración de disoluciones.

Tabla 7: Términos característicos encontrados para identificar los tipos y factores/causas de corrosión, en los documentos seleccionados

Los términos característicos para los tipos y las causas de corrosión, al igual que los que definen el término, muestran diferencias y falta de consenso. En algunos casos se observan términos que para algunos autores son causas y para otros son tipos de corrosión, por ejemplo, esfuerzos y erosión.

La información presentada en el caso de tipos y causas es cualitativa y concreta. Por lo tanto, sería la temática adecuada para presentar en los primeros niveles de aprendizaje del tema, es decir que se desarrollaría en las primeras etapas del pensamiento humano (Colegi Oficial de Psicòlegs de Catalunya, 2007).

3.3.3. Medición y control de corrosión

Por último, en la Tabla 8 se presentarán los términos característicos encontrados en cada uno de los documentos para identificar las técnicas para la medición y control de corrosión. Debido a la especificidad de las técnicas de medición, esta información solamente se encontró en los documentos más especializados. Para el análisis de algunos documentos y publicaciones se relacionaron las técnicas de medición con los aspectos teóricos de las celdas electroquímicas.

Identificación de la fuente de consulta	Términos encontrados para identificar técnicas de medición y control de corrosión
G1	Control: Diseño, recubrimientos, materiales, control de ambiente, inhibidores.
G2	-
G3	Control: Protección catódica, protección anódica, recubrimientos orgánicos, recubrimientos inorgánicos, materiales, diseño, control ambiente.
G4	Aceros inoxidables, pinturas anticorrosivas, inhibidores, materiales.
G5	-
G6	Inhibidores anódicos, inhibidores catiónicos, recubrimientos orgánicos, recubrimientos metálicos, recubrimientos no metálicos, protección catódica, protección anódica.
G7	Recubrimientos, materiales, protección catódica, inhibidores.
G8	Materiales, recubrimientos, diseño, protección de barrera, protección catódica, protección anódica, control ambiental.
G9	Evitar humedad, barreras de humedad, asear, recubrimientos de grasa.
G10	Protección con recubrimientos tipo alquídicos, acrílicos, epóxicos, poliuretanos o poliaspárticos
Y1	Técnicas de inspección visual, Recubrimientos, protección catódica, barreras.
Y2	De forma teórica presenta el potencial normal de reducción y ecuación de Nerst
Y3	Evitar humedad, galvanización, ánodo de sacrificio.
Y4	De forma teórica presenta el potencial electroquímico, pasivación: experimento de Schönbein, diagrama de Pourbaix
Y5	Celda de corrosión, series galvánicas.
L1	Recubrimientos, galvanizado, protección catódica.
L2	No evidente para corrosión, en sección electroquímica de forma teórica: células electrolíticas y ecuación de Nerst.
L3	Medición: polarografía digital de pulsos, voltamperometría, polarografía "fast", Control: Electrodeposición.
L4	No evidente para corrosión, de forma teórica potenciales estándar, teoría Debye-Hückel y conductancia.
L5	Medición: EIS, polarización galvanostática, procedimientos potenciostáticos y potenciodinámicos, evaluaciones para cada tipo de corrosión, Control: protección anódica.
L6	Control: Materiales, diseño, recubrimientos, cambio de ambiente, intervenir en la reacción, procedimientos.
L7	Medición: polarización, concentración. Control: pasividad.

Tabla 8: Términos característicos encontrados para identificar las técnicas de medición y el control de corrosión en los documentos seleccionados

Respecto a la información relacionada con medición de corrosión, esta se encuentra solamente en las fuentes especializadas. Al igual que los tipos de corrosión, es más común encontrar las técnicas de prevención, aunque no son iguales en todas las fuentes analizadas.

Para identificar las técnicas de análisis se seleccionaron los 5 primeros artículos, que se encuentran en revistas con la palabra *corrosion* (Tabla 9), desde la base de datos de investigación científica: "Science Direct". En estos se buscan las técnicas utilizadas para caracterizar o para medición de corrosión.

Título	Revista	Autores	Fuente
Oxygen corrosion of N80 steel under laboratory conditions simulating high pressure air injection: Analysis of corrosion products	Journal of Petroleum Science and Engineering, Volume 172, January 2019, Pages 162-170	Xiankang Zhong, Wenjun Lu, Huaijun Yang, Min Liu, Dezhi Zeng	(Zhong <i>et al.</i> , 2019)
Preferred corrosion and its effect on delamination of steel	Construction and Building Materials, Volume 193, 30 December 2018, Pages 576-588	Le Li, Chun-Qing Li, Mojtaba Mahmoodian, Muhammad Wasim	(Li <i>et al.</i> , 2018)
Corrosion of Zircalloys: Relating the microstructural observations to the corrosion kinetics	Journal of Nuclear Materials, Volume 509, October 2018, Pages 343-354	Mhairi Gass, Mark Fenwick, Helen Hulme, Michael Waters, Aidan Cole-Baker	(Gass <i>et al.</i> , 2018)
Influence of stirrup arrangements on the corrosion characteristics of reinforced concrete members	Construction and Building Materials, Volume 192, 20 December 2018, Pages 683-695	Peng Zhao, Gang Xu, Qing Wang, Juan Zhao, Xinqi Liu	(Zhao <i>et al.</i> , 2018)
A simple corrosion fatigue design method for bridges considering the coupled corrosion-overloading effect	Engineering Structures, Volume 178, 1 January 2019, Pages 309-317	Lu Deng, Wangchen Yan, Lei Nie	(Deng <i>et al.</i> , 2019)

Tabla 9: Primeros 5 artículos encontrados con la palabra “*corrosion*” desde la base de datos Science Direct

Se esperaba encontrar técnicas modernas de análisis de corrosión, sin embargo los artículos seleccionados solamente presentan análisis de corrosión por pérdida de masa o por variación en dimensiones. Una característica analizada en estas publicaciones sugiere que estas publicaciones se refieren a investigaciones de materiales utilizados en construcciones y en industria. Para buscar las técnicas de análisis, potencioestáticas o potenciodinámicas, más comunes para recubrimientos o nanomateriales es necesario incluir, en el buscador, palabras claves relacionadas con la técnica o con el material.

3.4. Caracterización en niveles conceptuales

Para la enseñanza de los temas propios de las ciencias naturales y específicamente de corrosión, se evidencian etapas desde los conceptos básicos propios de la cultura general, como es la morfología del fenómeno, las condiciones ambientales y las reacciones químicas, y se evidencian conceptos elaborados como la cinética de la reacción, la influencia de los factores ambientales y los modelos matemáticos o ecuaciones requeridas para que los profesionales de ciencias e ingeniería obtengan argumentos durante los análisis de resultados de investigación o para la toma de decisiones. Sin embargo, el desconocimiento de estas etapas conduce a que quienes abordan por primera vez la información especializada sin conocimientos básicos de física, química y matemáticas, permanezcan en una continua repetición temática que detiene su avance profesional y tecnológico. (Talanquer, 2004) (Shulman, 2005). Para facilitar el proceso académico es necesario que en los libros de texto y publicaciones académicas del siglo XXI se enuncien los requisitos necesarios o conocimientos básicos en física, química, matemáticas, electricidad, electrónica, etc., que requiere el estudiante para la comprensión de cada temática.

Los términos encontrados en los aspectos seleccionados sirven de referencia para analizar la información previa necesaria para entender la temática. Las explicaciones cualitativas, que no requieren desarrollos matemáticos, pueden aprenderse en primeros niveles del proceso académico y en la medida que se aprenden los conceptos matemáticos requeridos, se pueden avanzar en el proceso hacia conceptos más específicos.

Se identifica que la definición de corrosión, así como los tipos y formas de prevenirla pueden presentarse en niveles básicos de forma cualitativa. Por ahora, y mientras se llega a otro consenso, el término corrosión, de forma general puede aceptar la definición (During, 2018): “Corrosión es una reacción

química o electroquímica entre un material y su entorno que producen un deterioro del material". Para entender el concepto de forma básica se define corrosión como una reacción REDOX y se incluyen los potenciales electroquímicos, lo que requiere que el estudiante garantice conocimientos sobre estequiometría química y manejo de ecuaciones. Y para niveles más avanzados se puede incluir el uso de matemáticas y de conceptos físicos y químicos más elaborados.

Otro tema como es la protección electroquímica, requiere que los estudiantes garanticen conocimientos de física eléctrica básica, fisicoquímica básica y electroquímica básica; y para esto, adicionalmente se requieren conocimientos matemáticos más avanzados que corresponden a niveles de pensamiento abstracto. Por último, respecto a experimentación, se identifican distintos niveles de prácticas de laboratorio, desde las cuales se conocen las condiciones que producen corrosión, se realizan prácticas para hallar los potenciales electroquímicos hasta medir velocidades de corrosión con análisis de respuestas electrónicas. Se propone caracterizar la información de acuerdo a las temáticas necesarias y al grado de dificultad matemática requerida.

A continuación en la Figura 1, se propone una caracterización conceptual desde las dos formas de pensamiento (concreto y abstracto), en las cuales se enmarcan los niveles de educación, no por edades del estudiante sino por avance de su conocimiento. Teniendo en cuenta que es concreto lo que puede verse y que un fenómeno es un hecho científico que se puede observar (De Anda, 2003), se propone que la definición de corrosión como un fenómeno se incluya en los primeros niveles de aprendizaje concreto. También la información que se refiere a los tipos de corrosión puede tratarse en niveles de pensamiento concreto, cuando las imágenes mostradas son a nivel macroscópico, en casos que las imágenes se muestren a nivel microscópico requieren una explicación más avanzada sobre la morfología.

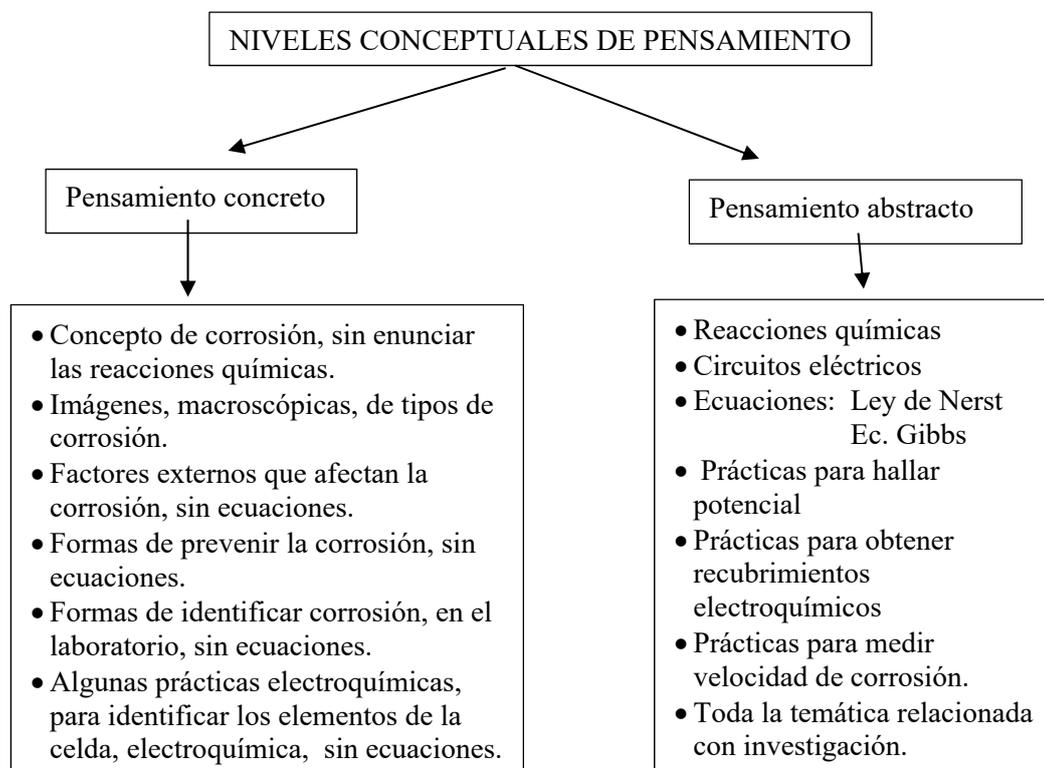


Figura 1: Caracterización conceptual propuesta para aprendizaje de corrosión desde dos niveles (pensamiento concreto y pensamiento abstracto)

Diversos trabajos relacionados con didáctica de las ciencias proponen alternativas para mejorar el proceso enseñanza-aprendizaje de las ciencias, se hacen propuestas desde miradas histórico-

epistemològiques, revisió de evaluacions i aprenentatge significatiu, entre altres. Des de les propostes desenvolupades a finals del segle XIX, no se evidencia un estudi acerca de les temàtiques presentades en cursos avançats i el seu engranaje amb els conceptes bàsics (Quílez, 1993, Níaz, 2005 i Rocha *et al.*, 2000).

Per al present treball se proposen dos etapes per al procés d'ensenyança-aprenentatge: Primer aprenentatge de models existents i segon construcció de nous models. En el sistema educatiu ha de ser obert a tots els estudiants, sense importar edat, creences, gènere, etc. Lo important és que el estudiant compregui que en la primera etapa va a conèixer la informació que ha sigut estudiada i modelada per investigadors de distintes èpoques històriques, però que la seva inquietud pot ser igual per a cada individu que es enfrenta a fenòmens de la naturalesa, aquesta és una característica de qui senten afinitat amb ciències naturals i matemàtiques. Per tant, la estructura educatiu ha de començar amb aprenentatge i acabar amb la construcció de nou coneixement.

3.5. Proposta de estructura

La estructura proposada comença al nivell bàsic, passant per nivells mitjà i superior fins a arribar al nivell investigatiu. Lo important d'aquesta estructura és que es pot retornar el procés quantes vegades calgui i ha de ser suport per al autoaprenentatge. Aquesta estructura es basa en el procés inductiu de Hiele els seus nivells són jeràrquics i han de començar i continuar en l'ordre proposat (Corberán *et al.*, 1989).

Per a la estructura del procés d'ensenyança-aprenentatge de corrosió se proposen 4 nivells: nivell bàsic, nivell mitjà, nivell superior i nivell investigatiu (Figura 2). En aquests nivells es estableixen les temàtiques conceptuals i experimentals que poden desenvolupar-se. Aquests nivells es relacionen amb els dos nivells conceptuals de pensament descrits anteriorment, el pensament concret es desenvolupa als nivells bàsic i mitjà. El pensament abstracte comença a desenvolupar-se a finals del nivell mitjà. A més, al costat esquerre dels nivells bàsic i mitjà es mostren les etapes d'aprenentatge, és a dir de coneixement de models teòrics existents i als nivells superior i investigatiu es iniciarà l'etapa de construcció de nou coneixement.

En la Figura 2 es ubica al centre la frase "situacions reals de corrosió", amb això es representa la temàtica que es estructurarà per al procés d'ensenyança-aprenentatge que, a més, ha de ser jerarquitzat per a que inicialment hi hagi una etapa d'aprenentatge; i en el moment que el individu desenvolupa el seu pensament abstracte comença l'etapa de generació de nou coneixement.

Relacionades amb les etapes de pensament es troben els nivells acadèmics que comencen amb el nivell bàsic, en el qual el coneixement sobre corrosió comença amb l'observació macroscòpica del fenomen; per a aquest nivell es requereix que els llibres de text i documents informatius mostren imatges i descrigui textualment els problemes i el concepte en estudi. Per al cas de corrosió, llibres com l'atlas (Doring, 2018) són de gran suport per a presentar imatges de situacions reals i classificar els tipus de corrosió. També, per al nivell bàsic pot presentar-se la informació que descriu els factors que incrementen la corrosió i les formes elementals per a prevenir corrosió. És a dir, per al nivell bàsic ha de presentar-se informació que no impliqui desenvolupaments matemàtics.

Al nivell mitjà ja és possible començar amb informació més elaborada que inclou desenvolupaments matemàtics bàsics, incloure informació per a fer muntatges de cel·les electroquímiques i fer observacions microscòpiques inicials. Per a aquesta etapa, els llibres de text i documents informatius han de presentar la fundamentació química relacionada amb models atòmics i models moleculars, amb reaccions REDOX així com els desenvolupaments matemàtics bàsics necessaris per a l'estequiometria química. També es ha d'incloure informació bàsica relacionada amb física elèctrica i els desenvolupaments matemàtics, també bàsics, per a expressar els models físics i químics. Per a interpretar situacions experimentals, es requereixen explicacions de algunes imatges observades al microscopi, també

prácticas experimentales orientadas para hacer montajes de celdas electroquímicas, indicando los componentes de esta y las variables involucradas.

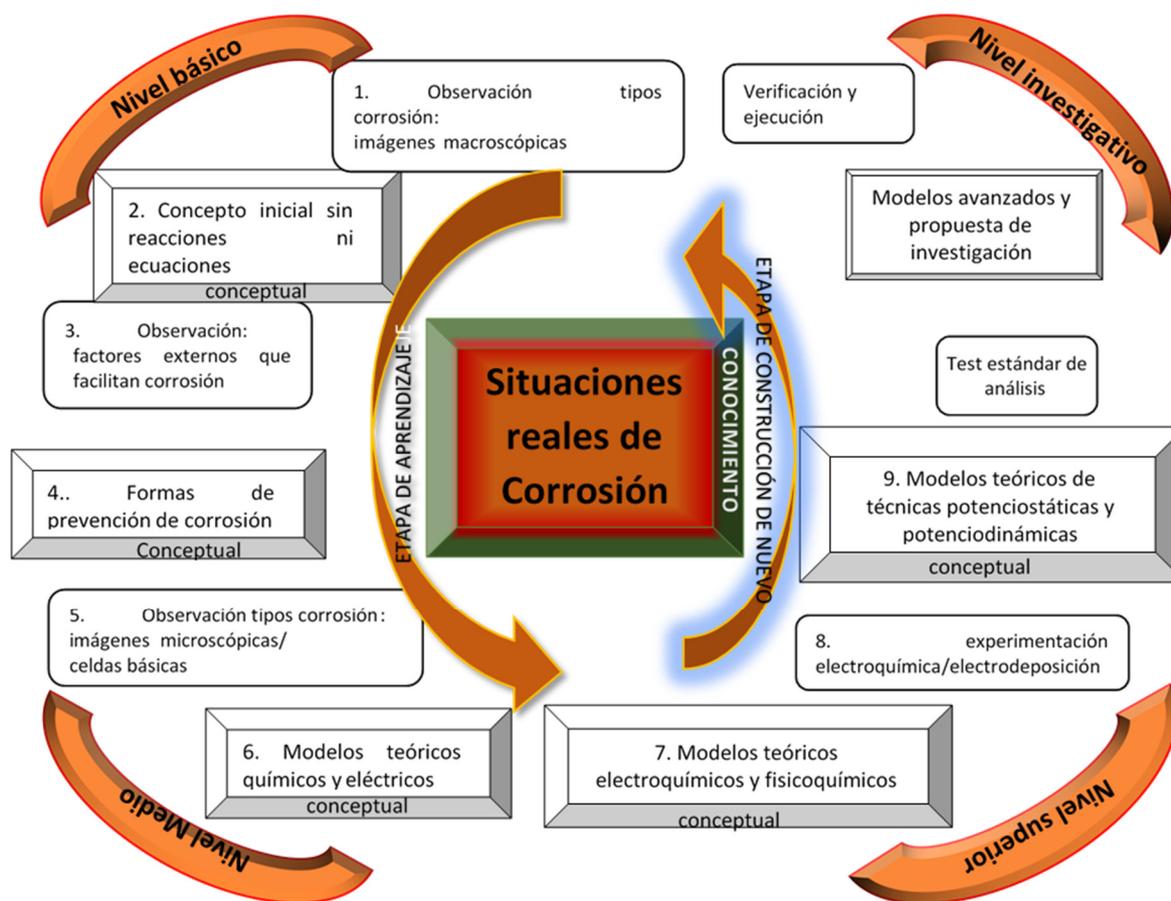


Figura 2: Estructura propuesta para educación de ingeniería – Caso corrosión

En nivel superior la información debe ser avanzada, se puede incluir el análisis de variables y las ecuaciones más avanzadas para explicar el fenómeno, identificar zonas anódicas y catódicas, predecir la reacción y desarrollar experimentación electroquímica. Para esta etapa, los libros de texto y documentos informativos deben presentar la fundamentación electroquímica y fisicoquímica, entre ellos, Energía de Gibbs, ecuación de Nerst, diagrama de Pourbaix y Diagrama de Evans. Experimentalmente, uso y cálculos para celda electroquímica y para procesos de electrodeposición.

Por último, para el nivel investigativo es necesario conocer las demás técnicas de caracterización para lo cual se debe iniciar con los aspectos teóricos que fundamentan la relación entre las variables involucradas. En este nivel se deben incluir las técnicas potenciostáticas y potenciodinámicas para la medición de variables que conducirán a predecir la velocidad de corrosión y potencial de corrosión. Con este conocimiento básico, el investigador deberá proponer nuevos modelos teóricos y nuevos mecanismos que expliquen y ayuden a solucionar esta problemática mundial. Apoyando de esta manera a las sociedades que de manera indirecta están involucradas con el problema.

4. Conclusiones

Los avances tecnológicos de los últimos años demuestran la necesidad de formar profesionales idóneos, competitivos y que trabajen de forma interdisciplinar, para lo cual los documentos informativos, del siglo

XXI, deben ser reestructurados y aceptados por la comunidad de expertos. Algunas investigaciones deberán direccionarse a resolver problemas que afectan a las sociedades.

La corrosión, a pesar de ser un fenómeno ampliamente estudiado, presenta problemas vigentes que requieren ser investigados por grupos interdisciplinarios. La formación en corrosión deberá ser reestructurada, así como el vocabulario deberá ser unificado por expertos para facilitar los procesos de autoaprendizaje y así motivar su estudio.

El modelo de Van Hiele propuesto en geometría es una opción para organizar la estructura de enseñar todos los temas relacionados con la ingeniería, específicamente el tema corrosión, bajo la lógica de comienza con los aspectos simples para avanzar hasta niveles superiores.

Los profesionales, como ciudadanos, deben apoyar desde sus conocimientos disciplinares a los integrantes de la sociedad que requieran solucionar o prevenir problemas que puedan afectar su desarrollo o su vida.

Referencias

- Albella, J. (2003) *Láminas delgadas y recubrimientos - preparación, propiedades y aplicaciones*. CSIC, Madrid.
- Aperador, W., Vera, E., Vargas, A. (2010) Estudio de la resistencia a la corrosión electroquímica de electrorecubrimientos níquel/cobre obtenidos por corriente pulsante. *Ingeniería y Desarrollo*, 27, pp. 48-61.
- Avendaño, D. (1844) *Manual completo de Instrucción primaria elemental y superior*. D. Dionisio Hidalgo, Madrid.
- Ball, D. (2004) *Fisicoquímica*. Thomson, México.
- Barker, W. (1836) On electric current passing through platinum wire. En: *Report of the fifth meeting of the British Association for the advancement of science* (pág. 34). John Murray and Albemarle Street, London.
- Bastidas, D., Cayuela, I., Bastidas, J. (2006) Ant-nest corrosion of copper tubing in air-conditioning units. *Revista de metalurgia*, 42(5), pp. 367-381.
- Bonélls, J., Lacaba, I. (1820) *Curso completo de anatomía del cuerpo humano* (2º ed., Vol. V). Cámara de S.M., Madrid.
- Brown, T., LeMay, H., Bursten, B., Murphy, C. (2009) *Química. La ciencia central*. Pearson, México.
- Buntrock, R. (2014) Review of does science need a global language. *Journal of Chemical Education*, 91, pp. 13-14.
- Cabrera-Sierra, R., Marín-Cruz, J., González, I. (2007) La utilización de la espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS) para identificar diferentes estados superficiales en el proceso de corrosión del acero al carbono en medios amargos. *Boletín de la Sociedad Química de México*, 1, pp. 32-41.
- Callister, W. (2012) *Fundamentals of Materials science and engineering - An integrated approach*. John Wiley & Sons, USA.
- Col·legi Oficial de Psicòlegs de Catalunya (2007) Master en Paidopsiquiatria bienio 07-08. Recuperado el 18 de 04 de 2018, de http://www.paidopsiquiatria.cat/files/teorias_desarrollo_cognitivo_0.pdf
- Corberán, R., Huerta, P., Garrigues, J., Peñas, A., Ruíz, E. (1989) *Didáctica de la geometría: Modelo Van Hiele*. Universitat de Valencia, Valencia.
- De Anda, P. (2003) *Manual de actividades de aprendizaje de química*. Umbral, Guadalajara.

- Deng, L., Yan, W., Nie, L. (2019) A simple corrosion fatigue design method for bridges considering the coupled corrosion-overloading effect. *Engineering Structures*, 178, pp. 309-317.
- Dominguez, M. (2000) *Electroquímica, Cuestiones y problemas*. Helice, España.
- During, E.D.D. (2018) *Corrosion Atlas: A collection of illustrated case histories*. Elsevier.
- Gass, M., Fenwick, M., Hulme, H., Waters, M., Cole-Baker, A. (2018) Corrosion of zircalloys: Relating the microstructural observations to the corrosion kinetics. *Journal of Nuclear Materials*, 509, pp. 343-354.
- Gellings, P. (2018) Foreword. En: E.D.D. During, *Corrosion Atlas: A collection of illustrated case Histories*. Elsevier.
- Gómez, B., Lavín, C. (2016) Enseñanza-aprendizaje de la electroquímica con analogías: una experiencia en el aula. *Tabanque: Revista pedagógica*, 29, pp. 189-206.
- Jaime, A., Gutiérrez, A. (1990) Una propuesta de fundamentación para la enseñanza de la geometría: El modelo de Van Hiele. En: S. Llinares, M. Sánchez, *Teoría y práctica en educación matemática* (págs. 295-384). Alfar, Sevilla.
- Jones, D.A. (1996) *Principles and prevention of corrosion*. Prentice-Hall, N.J.
- Lara, L., Estupiñan, H.A., Peña B, D.Y., Vásquez Q., C. (2007) Comportamiento electroquímico en Ringer's de recubrimientos de Hap obtenidos por electrodeposición sobre acero inoxidable 316 LVM anodizado. *Scientia et Technica*, 36, pp. 273-278.
- Lavoisier, A. (1775) *Memoir on the nature of the principle which combines with metals during calcination and increases their weight*. Academie des Sciences, Easter.
- Li, L., Li, C.-Q., Mahmoodian, M., Wasim, M. (2018) Preferred corrosion and its effect on delamination of steel. *Construction and Building materials*, 193, pp. 576-588.
- Lull, V., González, P., Risch, R. (1992) *Arqueología de Europa 2250 -1200 a.c. Una introducción a la edad del bronce*. Síntesis S.A., Madrid.
- Mallet, R. (1850) Report on the experimental Inquiry conducted at the request of the British association, on Railway Bar corrosion. En: J. Murray, A. Street, *Report of the nineteenth meeting of the British Association for the advancement of science*. Richard and John E. Taylor. London.
- Masterton, W., Hurley, C. (2003) *Química. Principios y aplicaciones*. Thomson – Paraninfo, Madrid.
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (2014) Real Decreto 126/2014, de 28 de febrero. Recuperado el 05 de 12 de 2018, de <https://www.boe.es/buscar/pdf/2014/BOE-A-2014-2222-consolidado.pdf>
- Moreno, M., Sanabria, Q. (2005) Reflexiones sobre los estándares propuestos para ciencias naturales relacionados con el fenómeno de corrosión y el concepto óxido-reducción. *Tecné, Episteme y Didaxis*, (págs. 160-163). Bogotá.
- NACE International (2002) <http://www.nace.org/uploadedFiles/Publications/ccsupp.pdf>. (N. International, Ed.) Recuperado el 23 de Mayo de 205.
- Níaz, M. (2005) ¿por qué los textos de química general no cambian y siguen una “retórica de conclusiones”? *Educación química*, 16, pp. 410-415.
- Organización de Naciones Unidas (s.f) Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Objetivos de Desarrollo Sostenible. Recuperado el 14 de 11 de 2018, de <http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>

Quílez, J.S. (1993) La necesidad de un cambio metodológico en la enseñanza del equilibrio químico. Limitaciones del principio de Le Chatelier. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 11(3), pp. 281-288.

Rocha, A.L., García-Rodeja, E., Domínguez, J.M., (2000) Dificultades en el aprendizaje del equilibrio químico. *Adaxe - Revista de estudios y experiencias educativas*, 16, pp. 163-178.

Shulman, L. (2005) Conocimiento y enseñanza: fundamentos de la nueva reforma. Profesorado. *Revista de currículum y formación del profesorado*, 9(2), pp. 1-30.

Singh, R. (2014) Chapter one - Need for the study of Corrosion. En *Corrosion Control for Offshore Structures Cathodic Protection and High Efficiency Coating* (págs. 3-6).

Talanquer, V. (2004) Formación docente: ¿qué conocimiento distingue a los buenos maestros de química?, *Educación química*, 15(1), 52-58.

Zhao, P., Xu, G., Wang, Q., Zhao, J., Liu, X. (2018) Influence of stirrup arrangements on the corrosion characteristics of reinforced concrete members. *Construction and Building Materials*, 192, pp. 683-695.

Zhong, X., Lu, W., Yang, H., Liu, M., Zhang, Y., Liu, H., Hu, J., Zhang, Z., Zeng, D. (2019) Oxygen corrosion of N80 steel under laboratory conditions simulating high pressure air injection: Analysis of corrosion products. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 172, pp. 162-170.