

CONTEXTUALIZACIÓN DEL CONCEPTO TEORÍA DEL ORBITAL MOLECULAR,
APORTES DESDE EL CONOCIMIENTO DIDÁCTICO DEL CONTENIDO.

PRESENTADO POR:
Sandra Marcela Horta Camacho.

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
BOGOTÁ
2026

CONTEXTUALIZACIÓN DEL CONCEPTO TEORÍA DEL ORBITAL MOLECULAR,
APORTES DESDE EL CONOCIMIENTO DIDÁCTICO DEL CONTENIDO.

PRESENTADO POR:

Sandra Marcela Horta Camacho.

Trabajo de grado para optar al título de Licenciada en Química

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Didáctica de los contenidos curriculares

Grupo Alternancias

Director

JONATAN LOPEZ CASTILLO

Magister en Docencia de la Química

Codirector

RODRIGO RODRIGUEZ

Doctor en Educación

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

BOGOTÁ

2026

Tabla de Contenido

INTRODUCCIÓN	5
1. JUSTIFICACIÓN	6
2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	7
2.1. Sobre la enseñanza del concepto teoría de orbital molecular.	7
2.2. Sobre las investigaciones didácticas en CDC.....	9
2.3. Sobre la contextualización del contenido	10
2.4. Pregunta problema.....	12
3. OBJETIVOS.....	13
3.1. Objetivo general	13
3.2. Objetivos específicos	13
4. ANTECEDENTES	14
5. MARCO TEÓRICO.....	22
5.1 Sobre el componente disciplinar TOM.....	22
5.2 Sobre el componente Didáctico CDC.....	30
5.3 Sobre la contextualización del contenido	36
6. DISEÑO METODOLÓGICO.....	38
6.1 Caracterización del enfoque investigativo.....	38
6.2 Población objetivo.	39
6.3 Fases del desarrollo del proyecto.....	39
6.3.1 Fase de caracterización CDC declarativo de los docentes de química	39
6.3.2 Fase de revisión y construcción de las alternativas de contextualización	40
6.3.4. Fase de análisis de relaciones CDC/Contextualización.....	41
6.4 Instrumentos y/o técnicas de recolección de información.....	41
6.5 Criterios de análisis	42

6.6 Resumen del diseño metodológico	43
7. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	44
7.1. Fase de caracterización CDC declarativo de los docentes de química.....	44
7.1.1 <i>Análisis del docente de Educación secundaria</i>	47
7.1.2 <i>Análisis del docente de Educación técnico laboral</i>	52
7.1.3 <i>Análisis del docente de Educación Universitaria en ramas de la química</i>	57
7.1.4 <i>Análisis comparativo de los hallazgos entre los docentes</i>	61
7.2 Fase de revisión y construcción de escenarios de contextualización	64
7.2.1 Alternativas de conetxtualización	65
7.2.2 Extensión Fase 2. Validación y potencial didáctico de las alternativas	81
7.3. Fase de análisis de relaciones CDC/Contextualización.....	83
8. CONCLUSIONES	87
9. BIBLIOGRAFÍA	89

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se inscribe en la línea de investigación de Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) del grupo de Alternancias (Alternativas para la enseñanza de las ciencias) de la Universidad Pedagógica Nacional, y tiene como propósito analizar las relaciones entre la contextualización del contenido y las dimensiones del CDC.

El documento presenta el desarrollo conceptual y metodológico del proceso de caracterización del Conocimiento Didáctico del Contenido Curricular (CDCC) en profesores en ejercicio, en torno a al concepto Teoría del Orbital Molecular (TOM) y sus relaciones e implicaciones frente a las estrategias de contextualización del contenido para su enseñanza.

A nivel conceptual se aborda el desarrollo histórico de la Teoría de Orbital Molecular (TOM) identificando categorías y autores claves para la comprensión conceptual, a nivel metodológico desde una perspectiva cualitativa, se describen las dimensiones del CDC a partir de las concepciones y prácticas de profesores de química en ejercicio.

El trabajo pretende la construcción de diferentes opciones de contextualización para la enseñanza del concepto TOM, a través de situaciones y fenómenos que aborden lo cotidiano u otros entornos a nivel industrial, con el fin de favorecer su enseñanza y mejorar su aprehensión en diversos grupos de estudiantes a nivel de educación media, técnica laboral y universitaria.

Finalmente se busca interpretar los aportes que desde el marco del CDC se pueden considerar para realizar procesos de contextualización del contenido en química. Se espera que el proyecto resulte de interés para la comunidad docente en general, y particularmente para la comunidad académica interesada en problematizar sobre el CDC.

1. JUSTIFICACIÓN

Este trabajo de investigación es importante y relevante porque problematiza la enseñanza de una noción abstracta, de alta complejidad teórica, como lo es la Teoría del Orbital molecular (TOM), desarrolla un ejercicio de identificación de características en la manera en cómo se visualiza, se interpreta y se enseña; y lo relaciona con una necesidad y tendencia educativa de contextualización del contenido.

La investigación permite interpretar, desde el marco del CDC, cómo los profesores articulan el conocimiento disciplinar, histórico-epistemológico, psicopedagógico y contextual para transformar el contenido, en este caso teoría del orbital molecular, en formas enseñables. Esta exploración permite identificar fortalezas, vacíos y oportunidades de mejora en el ejercicio de enseñanza.

También brinda un aporte a la línea de investigación, en la medida que relaciona los temas de contextualización con el CDC, de manera que, permite vincular la enseñanza de la química con procesos diversos que acerquen la actividad y conocimiento científico al grupo de estudiantes, siendo un medio para integrar diferentes fenómenos a marcos explicativos que no siempre son fáciles de interpretar, construyendo sentido y utilidad a través de lo que se aprende.

Igualmente, brinda insumos para ejercicios investigativos futuros, en donde sea posible el diseño y/o adaptación de material didáctico para estudiantes en diferentes niveles educativos, donde se integre una visión progresiva del aprendizaje y se favorezca la enseñanza de la química.

Por tanto, este estudio tiene una importancia formativa, investigativa y práctica, al aportar tanto al conocimiento académico sobre la enseñanza de la química desde el CDC, como en la búsqueda de opciones concretas para las prácticas contextualizadas en el proceso de enseñanza.

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

2.1. Sobre la enseñanza del concepto teoría de orbital molecular.

La Teoría del Orbital Molecular (TOM) es una construcción conceptual moderna que integra y amplía estudios previos sobre la estructura de la materia y pretende explicar con claridad la formación y estabilidad de las moléculas, se encuentra fundamentada desde la mecánica cuántica privilegiando una interpretación basada en la naturaleza ondulatoria y deslocalizada del electrón.

Desde esta teórica se explican cómo los orbitales atómicos se combinan y se “mezclan” para formar el orbital molecular que se extiende por toda la molécula, en lugar de limitarse a un solo átomo. Generando una explicación a la formación de moléculas complejas que desde otras teorías no habían podido ser contempladas y concluyendo con décadas de estudio sobre la organización a nivel atómico de las moléculas. (Atkins P. &., 2008). Por ende, su aporte en la interpretación de fenómenos es importante y relevante.

Sin embargo, al identificar en la literatura didáctica como se ha investigado y abordado la enseñanza de esta teoría y concepto, se describen diferentes dificultades en su comprensión:

- a.** Los estudiantes construyen significados erróneos de conceptos abstractos como orbital molecular donde no encuentran coherencia entre los conocimientos previos y los modelos científicos formales, de manera que, deben desaprender concepciones previas que son funcionales pero limitadas, interfiriendo en su comprensión (Taber K. S., 2002).
- b.** Para el aprendizaje de la TOM se requieren conceptos abstractos propios que la fundamentan, basados en mecánica cuántica, entre ellos: superposición de orbitales, dualidad de onda-partícula del electrón y números cuánticos, que pertenecen al mundo de lo intangible, impidiendo la visión espacial que limita su aprendizaje (Euguren, 2021)

- c. Su abordaje se realiza a través de un alto componente simbólico, mediante el uso de diagramas e íconos para determinar niveles de energía, número de electrones, fases y degeneración de orbitales. Adicionalmente incluye nuevos elementos de lenguaje y semántica, en términos como: “antienlazante”, “orden de enlace”, o “enlace sigma o pi”; que resultan confusos cuando no se han interiorizado conceptualmente (Atkins P. &, 2005).
- d. No se cuenta con una conexión con saberes previos, y se presentan confusiones entre los diferentes modelos de enlace y teorías que la anteceden, asimismo, aunque estos modelos resulten válidos en estructuras simples, son limitadas en moléculas más complejas, por lo que se requerirá de la capacidad de análisis del estudiante para apoyarse en una o en la otra; y en ese caso, se genera una dificultad metacognitiva que limita la capacidad de construir y discriminar cuerpos de conocimiento. (Gil Pérez, 1985).
- e. La falta de recursos es otro aspecto que permanece desconocido, o más bien es un área poco explorada. La poca investigación y el escaso material didáctico sobre el estudio de la TOM deja sin fuentes de consulta a docentes, que hacen limitada la búsqueda de estrategias didácticas, y a los estudiantes, pues crea barreras para la comprensión de conceptos abstractos (Taber K. S., 2001)
- f. Se encuentra la disociación entre una teoría avanzada como lo es la TOM y los lineamientos curriculares, dado que, a pesar de ser una teoría precisa sobre los enlaces y estructura de la materia, esta no es abordada en educación media, no se integra de manera explícita al interior de los estándares básicos de competencias, ni en los DBA (derechos básicos de aprendizaje) siendo excluida en el diseño curricular de los colegios (Mercader, 2018). Lo que si se encuentra es el modelo de Lewis, teoría del enlace de valencia e hibridación. (Gómez, 2006).

En este sentido, se evidencian los diferentes desafíos asociados a su enseñanza dada su alta complejidad, el escaso material didáctico, su bajo nivel de contextualización mediante ejemplos y/o situaciones explicativas, su integración curricular, y el variado nivel de experticia por parte del profesor, lo que hace manifiesta una necesidad de estudio.

2.2. Sobre las investigaciones didácticas en CDC

Desde el CDC, se han desarrollado diferentes trabajos investigativos, entre ellos el desarrollado por (Parga D. &., 2005), donde se identifican las dimensiones del CDC en el ámbito curricular, identificando las siguientes categorías:

- ***Conocimiento disciplinar*** donde se encuentran los fundamentos en los que se basa la teoría, la comprensión de las diferencias entre los distintos modelos y sus limitaciones, la organización estructural y la visión espacial de las moléculas.
- ***Conocimiento Histórico-epistemológico*** sobre la historia de la teoría, cómo fue su construcción, que interrogantes respondió y por qué fue aceptada en la comunidad científica.
- ***Conocimiento psicopedagógico*** capaz de identificar las dificultades conceptuales comunes, la capacidad para el diseño de material de aula, el uso de material didáctico y representaciones visuales físicas o digitales.
- ***Conocimiento contextual*** referente a la comprensión de las condiciones institucionales, áulicas y de aprendizaje en donde se organiza el medio para la enseñanza.

Se han desarrollado procesos de investigación en caracterización de conocimiento docente, en donde se evidencia la dificultad en la integración entre varios dominios y dimensiones del

conocimiento didáctico, entre ellos las relaciones entre conocimiento metadisciplinar (histórico-epistemológico) y contextual en los procesos de enseñanza.

La desconexión entre estos conocimientos, podrían generar prácticas que no favorezcan la comprensión de los estudiantes, y que en últimas influyan negativamente en su desarrollo académico y en la formación de habilidades científicas. Siendo este un panorama general en la enseñanza de las ciencias (Gil Pérez, 1985)

Asimismo, se han realizado caracterizaciones del CDC en diferentes nociones conceptuales, laboratorio químico (Moreno D. , 2020), enlace químico (Parga D. L., 2008), equilibrio químico (Irazoque, 2015), mol y cantidad de sustancia (Parga D. &., 2005), Combustión (Ariza, 2009), Carbohidrato (Manrique, 2023). O relaciones del CDC con otras entidades conceptuales tales como CDC-inclusión (Gil-Rios, 2023), CDC-Ambiental (Parga D. L., 2019), CDC y CSC (Rodríguez, 2017), pero no un abordaje específico frente al concepto Teoría del orbital molecular.

2.3. Sobre la contextualización del contenido

La integración de conocimiento cotidiano y social en la construcción de conocimiento científico escolar hace parte de los dominios del conocimiento del contexto escolar (López, 2015), esta conexión es clave dentro del proceso de enseñanza y aprendizaje, dado que, cuando el conocimiento se vincula con situaciones cercanas y fenómenos del entorno cotidiano, no solo se facilita el aprendizaje, sino que también se promueve una comprensión profunda y significativa por parte del estudiante (Gil, 1990), esto permite que el conocimiento tenga sentido para quien lo aprende, motivando así el interés por la ciencia. De esta manera, la contextualización se interpreta

como un principio fundamental en la enseñanza, ya que permite conectar los conceptos disciplinares con situaciones significativas cercanas o relevantes para los estudiantes.

En el abordaje del concepto teoría del orbital molecular, esta necesidad se vuelve aún más crítica debido a la naturaleza abstracta y altamente teórica del contenido, porque exige habilidades de razonamiento espacial y simbólico, además de la capacidad de integrar modelos cuánticos, representaciones matemáticas y explicaciones teóricas altamente formalizadas (Taber, 2002; Justi y Gilbert, 2000).

La enseñanza del concepto Teoría del orbital molecular suele estar centrada en formalismos, sin un esfuerzo sistemático por vincular el contenido con fenómenos reales, aplicaciones tecnológicas o problemas relevantes del entorno (Mortimer, 2003), generando una asimilación memorística o mecánica del contenido. También en los materiales o libros de texto de apoyo se tiende a presentar estas nociones desde una perspectiva técnica, pocos vínculos entre lo teórico y su sentido práctico. (Parga D. L., 2018)

Por ello, la contextualización podría derivar en mejoras en los procesos de enseñanza, en la medida que ofrece situaciones, ejemplos, fenómenos que permitan conectar el contenido disciplinar con aspectos que faciliten la comprensión y construcción de narrativas que refieran a la experiencia cercana de los estudiantes (Gilbert J. , 2006) y el anclaje de conceptos a situaciones concretas, de manera que, se cargue de mayor sentido el ejercicio de enseñanza, y se superen algunas limitaciones de una educación tradicional (Gómez, 2006).

En este orden de ideas, al reflexionar sobre cómo se enseñan conceptos abstractos como la TOM, identificar falencias en el ejercicio enseñanza-aprendizaje y reconocer la importancia del contenido didáctico de los maestros para enriquecer la enseñanza, nace el planteamiento central de este proyecto de investigación.

2.4. Pregunta problema

¿Cuáles son las relaciones entre las dimensiones del Conocimiento Didáctico del Contenido y las estrategias de contextualización del contenido para la enseñanza del concepto Teoría del Orbital Molecular en profesores de química en ejercicio?

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Analizar las dimensiones del Conocimiento Didáctico del Contenido en torno al concepto Teoría del Orbital Molecular y su relación con las estrategias de contextualización para su enseñanza.

3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar el CDC declarativo de profesores de química en ejercicio sobre el abordaje de la Teoría Orbital Molecular desde las dimensiones del CDC.
- Construir alternativas de contextualización para la enseñanza del concepto de Teoría Orbital Molecular en educación media y universitaria.
- Establecer relaciones entre los componentes del CDC y las estrategias de contextualización para la enseñanza del concepto de orbital molecular.

4. ANTECEDENTES

Para la construcción de este apartado, se realiza la revisión de 84 documentos a nivel nacional e internacional en diferentes fuentes de información, tales como: repositorio de la Universidad Pedagógica Nacional, Google Scholar y bases de datos como Scopus y Web of Science. Al hacer la revisión bibliográfica, se identifican aspectos que se han investigado, como aquellos que permanecen desconocidos (Carrasco Díaz, 2009) sobre las estrategias de contextualización de la TOM y su relación con el CDC. En la tabla 1 se presenta una matriz de revisión, de algunos de los documentos revisados.

Tabla 1. Matriz de revisión de antecedentes.

Trabajos revisados	Categorías de análisis propuestas	Metodología empleada	Resultados obtenidos	Aportes y observaciones del documento
Aprendizaje activo de la física y la química	Autores: Cruz, David., Román, Pascual, Cuadros, Jordi., Cúrvale, Daniela., Benito, Rosamaría., Ángel, Andrea., Rivero, Cristina., Raso, Miguel., y Ruiz, Andrés Año: 2003 y 2005 País: Madrid, España Categoría Aplicada en didáctica de la ciencia. Objetivo: E metodologías y resultados alcanzados en distintos entornos educativo.	Aprendizaje activo, actividades experimentales aprendizaje cooperativo, basado en problemas, con herramientas gráficas, construcción de modelos moleculares en papel, uso de las TIC, entre otras. Diversas estrategias y actividades para fomentar el aprendizaje activo en el área de física y química.	Participación. Implicación, autonomía del estudiante, mejoras significativas en el rendimiento académico y motivación, ejemplos del nuevo papel del maestro como agente creador de entornos de aprendizaje que estimule a los alumnos fomentando la reflexión sobre aspectos concretos de la práctica docente.	Es un recurso académico y una propuesta de innovación, hace al estudiante participe de su propio aprendizaje, también ofrece una guía y material para realizar experimentos y actividades que mejoren el aprendizaje de los estudiantes.

Tabla 1. Matriz de revisión de antecedentes. (continuación)

Trabajos revisados	Categorías de análisis propuestas	Metodología empleada	Resultados obtenidos	Aportes y observaciones del documento
Conocimiento pedagógico del contenido	Autores: Garritz, Andoni. y Trinidad Velasco, Rufino. Año: 2004 País: México Categoría Artículo de revisión teórica en la didáctica de las ciencias Objetivo: Fundamentación teórica del conocimiento pedagógico del contenido CPC, en la enseñanza de las ciencias y la formación docente.	Revisión bibliográfica para construir una comprensión clara de CPC, análisis teórico que estructura el concepto, se identifican sus componentes y aplicación argumentativa de cómo puede desarrollarse en la enseñanza formativa.	Aporta una revisión bibliográfica que reúne a diferentes autores con modelo con base del CPC donde organiza y construye marcos conceptuales para el desarrollo profesional docente	Ofrece orientaciones para la enseñanza de las ciencias relacionando la necesidad del repaso de los conocimientos previos de los estudiantes, sus dificultades de aprendizaje, la importancia de las representaciones, la adaptación didáctica del contenido científico y el currículo.
Desarrollo de una unidad didáctica: el estudio del enlace químico en el bachillerato	Autores: García, Alejandra y Garritz Andoni Año: 2006 País: México Categoría Investigación aplicada con enfoque en diseño didáctico Objetivo: Diseño de una unidad didáctica que favorezca el aprendizaje sobre enlace químico	Enfoque constructivista, teórico e instruccional con análisis epistemológico, actividades que vinculan comprensión conceptual y representaciones múltiples (simbólica, microscópica y macroscópica)	Mejoras en la comprensión del concepto, uso de ideas previas como parte fundamental para revisión y cambio de concepciones de ser el caso, clarificando la identificación de los tipos de enlace y sus características justificando sus respuestas.	La correcta selección de estrategias pedagógicas acordes a las necesidades y debilidades de aprendizaje de los estudiantes permite identificar y corregir ideas previas para mejorar procesos cognitivos.

Tabla 1. Matriz de revisión de antecedentes (continuación)

Trabajos revisados	Categorías de análisis propuestas	Metodología empleada	Resultados obtenidos	Aportes y observaciones del documento
Tramas histórico-epistemológicas en la evolución de la teoría estructural en química orgánica	Autores: Moreno, William y Parga, Diana. Año: 2007 País: Bogotá, Colombia Categoría Investigación documental y teórica Objetivo: Analizar la evolución de la teoría estructural de la química orgánica.	Construcción de tramas histórico- epistemológicas fundamentadas en el modelo de dinámicas científicas que permitan: la identificación de unidades básicas del conocimiento, cambios en la evolución del concepto y validación del modelo teórico en la historia, para el diseño de unidades didácticas en química orgánica	Comprensión profunda de los conceptos fundamentales a partir del conocimiento de la evolución de los conceptos que se pueden representar con estructuras de niveles sucesivos flexibles en donde el nivel de complejidad sea gradual además de la incorporación de nuevas herramientas y técnicas experimentales que permitan la validación de los modelos teóricos.	Integración del contexto histórico-epistemológico en la enseñanza del concepto, que facilita una comprensión significativa pues desarrolla el pensamiento cuando se analiza la evolución de los modelos teóricos y se fija como una herramienta para la formación docente. Uso de herramientas como: Cuadros comparativos, redes y mapas conceptuales diagramas, etc.
Caracterización del conocimiento didáctico del contenido curricular de un licenciado en química y de un Químico.	Autores: Moreno, William y Parga, Diana. Año: 2014 País: Bogotá. Categoría 2: trabajo de investigación en proceso. Objetivo: caracterizar y analizar el CDC que tiene un licenciado en química y un químico, ambos profesionales dedicados a la docencia de la química en educación superior.	Enfoque cualitativo interpretativo, emplea el estudio de caso para caracterizar el CDC a cada docente por medio de representaciones de contenido ReCo y repertorios de experiencia profesional didáctica ReEPD, también emplea el cuestionario de diseño curricular,	Diferencias entre la formación pedagógica y la disciplinar, otorga capacidades específicas a cada docente en el aula de clase. El licenciado posee facilidad para integrar conocimientos pedagógicos, histórico-epistemológicos y contextuales, mientras que el químico se enfoca en el conocimiento disciplinar que limitaron su capacidad de enseñanza.	Destaca la importancia de herramientas pedagógicas y didácticas, también de integrar los diferentes conocimientos para recrear todo un escenario que le permitan al estudiante la conexión entre el conocimiento y sus capacidades de aprendizaje.

Tabla 1. Matriz de revisión de antecedentes. (continuación)

Trabajos revisados	Categorías de análisis propuestas	Metodología empleada	Resultados obtenidos	Aportes y observaciones del documento
Una Hipótesis de Progresión sobre el Conocimiento Didáctico del Contenido respecto a las actividades de enseñanza asociadas al campo eléctrico	Autores: Reyes Roncancio, Jaime y Martínez Rivera, Carmen. Año: 2014 País: Bogotá, Colombia Categoría Investigación documental y teórica Objetivo: Proponer una Hipótesis de progresión que describa la evolución del conocimiento didáctico del contenido en profesores de física en formación inicial asociadas al campo eléctrico.	Enfoque cualitativo, se basa en el estudio de caso de profesores en formación inicial. Uso de entrevistas semi estructuradas y análisis de documentos sobre concepciones y practicas docentes relacionadas con la enseñanza del campo eléctrico, explorando formas de planear y reflexionar sobre las actividades, analizando su evolución del CDC dentro de 4 niveles de progresión: Acrítico, reflexivo lógico, innovador y reflexivo integral.	Niveles de comprensión de la evolución del CDC: Nivel Acrítico: Trasmisión de contenidos sin reflexión. Nivel reflexivo lógico: Reflexión del contenido y su enseñanza en un marco tradicional. Nivel Innovador: Practicas pedagógicas innovadoras, comprensión y participación del estudiante. Nivel reflexivo integral: enseñanza centrada en el estudiante y contextualizada.	Es una herramienta para analizar las prácticas de enseñanza pues integra las dimensiones pedagógicas y epistemológicas en el desarrollo del CDC en relación con un contenido específico, ofrecen un marco para el desarrollo profesional docente.
Un estudio del uso de modelos moleculares en la didáctica del enlace covalente en bachillerato	Autores: Cascarosa Salillas, Esther, Fernández2-Álvarez, Francisco y Santiago, Francisco. Año: 2018 País: Zaragoza, España Categoría Investigación documental y teórica Objetivo: Evaluar la eficacia del uso de modelos moleculares tridimensionales en la enseñanza del enlace covalente.	Metodología cuasi experimental con un enfoque cualitativo y cuantitativo. Basado en el diseño de intervenciones didácticas con fases de evolución de lo más simple a lo más complejo y representaciones tridimensionales de las moléculas con materiales sencillos.	Mejoras en la comprensión y habilidades espaciales sobre la geometría y ángulos en las moléculas logrando justificar sus respuestas, también el incremento en la motivación y el interés de los estudiantes hacia el aprendizaje de la química.	Uso de material didáctico tridimensional y manipulable, económico, para mejorar la visión espacial en los estudiantes como estrategia didáctica para la comprensión de conceptos, promoviendo un aprendizaje significativo y participativo.

Tabla 1. Matriz de revisión de antecedentes. (continuación)

Trabajos revisados	Categorías de análisis propuestas	Metodología empleada	Resultados obtenidos	Aportes y observaciones del documento
El laboratorio en la enseñanza de la química desde el conocimiento didáctico del contenido	Autores: Moreno, Jean Sebastián Año: 2020 País: Bogotá, Colombia Categoría Investigación cualitativa educativa Objetivo: caracterizar el papel del laboratorio en la enseñanza de la química.	De tipo cualitativa, basada en un estudio de caso. Con un enfoque exploratorio interpretativo. Análisis documental del concepto laboratorio y recopilación de datos mediante entrevistas semiestructuradas, observación de clases y análisis de materiales didácticos.	La importancia de las prácticas de laboratorio en las practicas docentes como espacio de integración y verificación de conocimientos para fomentar la capacidad de asombro y el pensamiento crítico, ideal para complementar la teoría y conseguir un pensamiento significativo en los estudiantes.	El laboratorio como una herramienta importante del CDC y la práctica docente en ciencias, que ofrece bases teóricas y experimentales para la verificación de teorías aumentando la percepción de credibilidad de las ciencias. Uso de redes semánticas para presentar los resultados de la investigación.
Elementos dominantes, núcleos estables y electrones traviesos	Autores: Medina Valtierra, y Fraustro Reyes Año: 2020 País: México Categoría Artículo de divulgación científica Objetivo: Explicar de forma clara y accesible conceptos sobre la estructura atómica, con el fin de fomentar la comprensión y el interés en fenómenos de la química molecular.	Enfoque narrativo que combina explicaciones sencillas con descripciones visuales sin tener que recurrir a lo estricto de las matemáticas avanzadas.	No presenta resultados, sin embargo, es un ejemplo claro de cómo se puede mejorar la comunicación y didáctica ofreciendo recursos lingüísticos para facilitar la enseñanza de tema abstractos.	Transformación del contenido disciplinar traducido a un lenguaje comprensible utilizando metáforas, analogías y descripciones narrativas, con una perspectiva de ciencia divulgativa. Uso de imágenes mentales sencillas de entender, y términos cotidianos que facilitan el aprendizaje.

Tabla 1. Matriz de revisión de antecedentes. (continuación)

Trabajos revisados	Categorías de análisis propuestas	Metodología empleada	Resultados obtenidos	Aportes y observaciones del documento
Aproximación al modelo de conocimiento didáctico del contenido carbohidrato en un profesor de química universitaria y su contraste con modelos internacionales	Autores: Suarez, Yeris A. y Manrique, Diego A. Año: 2023 País: Bogotá, Colombia Categoría Investigación cualitativa educativa² Objetivo: Identificar como enseña el maestro y si su enfoque se alinea o difiere con las características del CDC.	Es una investigación de cote cualitativa, basada en un estudio de caso. Análisis documental y recopilación de datos mediante entrevistas semiestructuradas, observación de clases y análisis de materiales didácticos. Se identificaron las estrategias pedagógicas y las representaciones de contenido y las decisiones didácticas del docente en la enseñanza de los carbohidratos.	El profesor posee conocimientos disciplinares sólidos y los articula con estrategias didácticas específicas de acuerdo con las necesidades de los estudiantes, uso del lenguaje accesible y adaptación de contenidos que facilitan la comprensión, cumple con muchas de las características del CDC con similitudes con los referentes internacionales.	Integración de conocimientos y componentes del CDC en un contexto específico, permitiendo recopilar las estrategias utilizadas por el docente al demostrarse efectivas en el momento de enseñar los carbohidratos, contribuyendo al desarrollo profesional docente.

Nota. Elaboración propia.

El análisis de los antecedentes identificó una articulación importante en torno al Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) como una categoría estructurante para comprender y transformar la enseñanza de las ciencias. Autores como Moreno y Parga (2014), Garritz y Trinidad (2004), Reyes y Martínez (2023) coinciden en que el dominio disciplinar, aunque indispensable, no basta para garantizar procesos formativos eficaces. Estos trabajos concuerdan en la necesidad de integrar dimensiones pedagógicas, epistemológicas y contextuales que permitan transitar del conocimiento científico puramente técnico hacia un conocimiento enseñable.

En esta línea, la literatura muestra un consenso sobre el valor de las representaciones múltiples y los modelos didácticos como puentes entre la abstracción científica y la comprensión del estudiante. Investigaciones como las de Cascarosa et al. (2018) y García y Garritz (2026) resaltan la utilidad de los modelos tridimensionales, las progresiones conceptuales y la relación simultánea entre los niveles submicroscópico, macroscópico y simbólico para facilitar el aprendizaje del enlace químico y la estructura molecular.

Por otra parte, los antecedentes respaldan el rol del laboratorio y el aprendizaje activo como escenarios clave para integrar la teoría y la práctica. El estudio de Moreno (2020) sitúa al laboratorio como un componente constructivo y dinámico del CDC, mientras que las propuestas de aprendizaje activo de Cruz et al. (2023) plantean que la participación directa del estudiante es una condición indispensable para lograr una construcción significativa del conocimiento. Desde una perspectiva histórico-epistemológica, el planteamiento de Moreno y Parga (2007) resalta la importancia de incorporar la evolución conceptual de los modelos científicos. Este enfoque busca promover una comprensión más profunda y crítica de la ciencia, distanciándose de la tendencia habitual de presentarla como un cuerpo de conocimiento acabado, dogmático y estático.

A pesar de estas convergencias, la revisión de la literatura expone diferencias importantes en cuanto a enfoque, alcance y niveles de articulación. Por un lado, mientras que algunos estudios se centran casi exclusivamente en caracterizar el CDC del docente (Moreno y Parga, 2014; Suarez y Manrique, 2023), otros priorizan el diseño y la aplicación de intervenciones didácticas específicas (Cascarosa et al., 2018; García y Garritz, 2006). Se observa, un vacío conceptual: falta una integración explícita entre el diagnóstico del CDC y el diseño sistemático de una mediación didáctica orientada específicamente a un modelo teórico de alta abstracción como la Teoría del Orbital Molecular (TOM).

Por otro lado, aunque diversos trabajos incorporan la contextualización o el análisis histórico-epistemológico, ninguno desarrolla un enfoque basado en el contexto que vincule de forma articulada fenómenos cotidianos concretos con la enseñanza de modelos cuánticos complejos. La mayoría de las investigaciones se quedan en los márgenes del enlace químico general o de conceptos estructurantes amplios, sin adoptar la TOM como núcleo conceptual específico. Del mismo modo, los niveles educativos abordados varían desde el bachillerato y la educación superior hasta los primeros semestres de la formación inicial docente, sin que se identifique una propuesta que logre articular la caracterización del CDC, la contextualización productiva y el diseño de material manipulativo dentro de un mismo marco de investigación.

La revisión de antecedentes permitió analizar los tres componentes principales de esta investigación: disciplinar, didáctico y contextual; ofreciendo un panorama general sobre el problema de investigación, situando dentro de un marco conceptual las concepciones epistemológicas, la evolución histórica de los conceptos y como son aplicados en diferentes contextos. Además, permite conocer que la integración de TOM, CDC y una situación específica.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 Sobre el componente disciplinar TOM

En 1966 el profesor estadounidense Robert S. Mulliken fue galardonado con el premio nobel de Química «por ampliar el conocimiento de los enlaces químicos y la estructura electrónica de las moléculas mediante el método Orbital Molecular», dando respuesta a la estabilidad y el magnetismo de las moléculas a partir de transiciones electrónicas entre los orbitales moleculares, logrando integrar tres campos del conocimiento para fundamentar sus estudios. (Fleming, 1976)

Por medio de representaciones matemáticas con funciones de onda moleculares pudo calcular la densidad electrónica en cada región del espacio atómico, describiendo como los electrones se distribuyen en el espacio tridimensional del átomo, en este caso en orbitales atómicos, pero que cuando hay unión de varios átomos, ósea en una molécula, con estudios de física cuántica logró demostrar que los electrones en sus orbitales se distribuyen deslocalizados en la molécula entera, debido a la similitud energética y simetría compatible que se combinan linealmente gracias al principio de superposición cuántica, formando orbitales moleculares y dependiendo de la forma del orbital, indicara la fracción de tiempo en la que el electrón puede pasar por las diferentes regiones particulares del espacio alrededor del núcleo o núcleos. (Fleming, 1976)

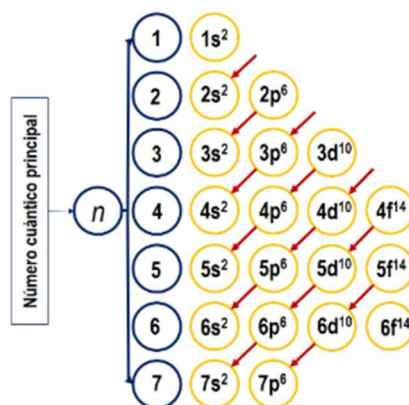
Mulliken (1966), gracias a sus conocimientos en química pudo descifrar que cada orbital favorece algunas regiones enlazantes con más probabilidad de encontrar el electrón, por ende, aumenta su densidad electrónica y disminuye el gasto energético, lo que estabiliza la molécula, porque mantiene unidos los núcleos; pero que, si por el contrario desfavorece las regiones alejadas de los núcleos, esto desestabiliza la molécula y no se da el enlace, indicando que es un orbital molecular anti enlazante.

Los grandes hallazgos científicos son construcciones colectivas al conocimiento, obra de acumulaciones y reorganizaciones de estudios anteriores en función de paradigmas compartidos por comunidades o contextos, por lo que es válido mencionar como se lograron superar los obstáculos epistemológicos. (Kuhn, 1962).

Un modelo atómico en el que el núcleo es positivo, pequeño pero pesado, rodeado por electrones en orbitas, con niveles energéticos traídos de la mecánica cuántica como el número cuántico principal (n): números enteros de 1 hasta 7 que relacionan la distancia que hay del núcleo a las orbitas donde se encuentran los electrones en el nivel más externo del átomo llamado capa de valencia, indicando el aumento de energía a medida que se aleja del núcleo, de acuerdo a la cantidad de electrones en esta orbita será igual a (n), a su vez será directamente proporcional al periodo de clasificación en la tabla periódica, este fue el modelo propuesto por Niels Borh (1913), e identificó el punto de partida.

Sumado a lo anterior cada nivel energético (n) cuenta con capas electrónicas o subniveles (s , p , d y f) y cada subnivel dispone de varios orbitales con un máximo de electrones por capa, cuyo orden de llenado es conocido como el principio de Aufbau y descrito con el diagrama de Moeller, indicando el orden del aumento de energía como muestra la ilustración. (Ilustración 1) y en la tabla se compara el número de electrones por cada subnivel energético (tabla 2).

Ilustración 1. Diagrama de Moeller



Nota: Tomado de <https://explorerbiogen.com/2017/05/02/de-los-modelos-atomicos-a-la-configuracion-electronica/>

Tabla 2. Cuadro comparativo N° de orbitales y electrones por cada subnivel de energía

<i>Subnivel</i>	<i>Letra</i>	<i>N° Orbitales</i>	<i>e por orbital</i> ↑↓	<i>Total de e</i>
1	S	2	2	2
2	P	3	2	6
3	D	5	2	10
24	F	7	2	14

Nota: Elaboración propia

Sommerfeld propone el número cuántico secundario o azimutal (l) cuya formula es $(n-1)$ da forma a las orbitas de las capas electrónicas, donde s y según la fórmula es de forma esférica, p es de forma bilobular, d es de forma como de un trébol y f es muy compleja (Sommerfeld, 1916), por su parte Pauli establece el número cuántico magnético (m_l) para explicar la orientación de los orbitales en el espacio, donde se asigna valores entre $-l$ y $+l$ (Pauli, 1925).

Además propone el numero cuántico de spin (s) que por cada orbital este puede: estar vacío, puede contener un electrón o tener un máximo de 2 electrones con espines que giran sobre si mismos creando un campo magnético que puede tomar solo dos valores opuestos $+1/2$ desapareado

representado con ($\uparrow$) y $-1/2$ apareado representado con ($\downarrow$) llamándolo principio de exclusión, concluyendo con el estudio de los cuatro números cuánticos para determinar el estado y posición probabilística de un electrón dentro de la estructura molecular representado en la tabla (tabla 3).

Tabla 3. Cuadro comparativo de los números cuánticos

Orbital	Nº cuántico (l)	Nº cuántico (m _l)	Nº Cuántico (s)
s	0	0	
d	1	-1, 0,+1	$\uparrow\downarrow, \uparrow, \downarrow$
d	2	-2,-1, 0,+1,+2	Desapareado +1/2
f	3	-3,-2,-1, 0,+1,+2+3	Apareado -1/2

Nota: Elaboración propia

Posteriormente se describe matemáticamente por medio de la ecuación de Schrödinger, el comportamiento ondulatorio de los electrones en sistemas atómicos con su ecuación de funciones de onda que resultan de la combinación de orbitales. (Schrödinger, 1926)

Por su parte el principio de máxima multiplicidad o regla de Hund; establece que los electrones en orbitales con la misma energía y espines paralelos se repelen y ocupan orbitales degenerados (Hund, 1927), es decir, dos electrones de un mismo orbital de un subnivel, tenderán a ocupar los orbitales libres y alejarse de su misma carga negativa antes de emparejarse gracias a las fuerzas de atracción de sus espines opuestos. (ver ilustración 2)

Ilustración 2. Distribución electrónica de algunos elementos

ELEMENTO	Z	DIAGRAMA DE ORBITALES						CONFIGURACIÓN ELECTRÓNICA
		1s	2s	2p			3s	
H	1	1						1s ¹
He	2	1↓						1s ²
Li	3	1↓	1					1s ² 2s ¹
Be	4	1↓	1↓					1s ² 2s ²
B	5	1↓	1↓	1				1s ² 2s ² 2p ¹
C	6	1↓	1↓	1	1			1s ² 2s ² 2p ²
N	7	1↓	1↓	1	1	1		1s ² 2s ² 2p ³
Ne	10	1↓	1↓	1↓	1↓	1↓		1s ² 2s ² 2p ⁶
Na	11	1↓	1↓	1↓	1↓	1↓	1	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ¹

Nota: Tomado de <https://bqto.virtualunexpo.com/mod/book/view.php?id=58872&chapterid=3007>

Adaptación gráfica IA (Gemini, 2026).

Poco después se aplicaron principios de mecánica cuántica para explicar el enlace de la molécula del H_2 postulando la Teoría del Enlace de Valencia (TEV) apoyándose de los estudios anteriores (*Heitler, 1927*), luego se propone que los orbitales atómicos se mezclan para formar orbitales híbridos con energías y orientaciones espaciales, dando paso a la geometría molecular (*Pauling, 1931*), finalmente se desarrolla por completo el concepto y se postula la Teoría del Orbital Molecular (TOM) (*Mulliken R. S., 1932*), con ayuda de los importantes aportes anteriormente mencionados, con un enfoque interdisciplinario en la construcción de una teoría coherente y predictiva del enlace molecular.

La comprensión de la Teoría del Orbital Molecular implica abordar conceptos estructurantes que permiten interpretar la formación, la estabilidad y el comportamiento de las moléculas desde un nivel submicroscópico, de ahí la importancia de conocerlos.

Conceptos estructurantes para la enseñanza de la Teoría del Orbital Molecular.

Las funciones de onda constituyen uno de los principales fundamentos de la TOM porque logra describir matemáticamente el comportamiento probabilístico del electrón. Surge a partir de la ecuación de Schrödinger, cuyas soluciones aproximadas permiten obtener los orbitales atómicos como regiones del espacio donde existe mayor probabilidad de encontrar un electrón, en el que el operador Hamiltoniano es la información del sistema (energía, atracción, repulsión) en los orbitales atómicos asociadas a energías definidas. Los electrones compartidos se solapan o superponen para formar enlaces covalentes: sigma (σ) de posición frontal en un enlace sencillo de naturaleza fuerte, o pi (π) de posición lateral con enlaces dobles y triples de naturaleza débil, que comparten un nivel

energético menor, dando el paso a orbitales moleculares (Schrödinger, 1926). Tal como se presenta a continuación:

Ecuación 1.
Ecuación de Schrödinger

$$\hat{H}\Psi=E\Psi$$

en donde:

$\hat{H}$ =Operador Hamiltoniano

Ψ =Función de onda

E=Energía

La TOM establece que cuando dos átomos se aproximan, sus orbitales atómicos pueden interactuar si posee energías semejantes y simetría compatible, formando nuevos orbitales denominados orbitales moleculares. A diferencia de modelos que anteceden esta teoría, aquí se plantea que los electrones se encuentran deslocalizados sobre toda la molécula y no exclusivamente a un átomo.

La formación de orbitales moleculares se explican mediante la Combinación Lineal de Orbitales Atómicos (CLOA), propuesta por Mulliken dentro del desarrollo de la TOM, estableciendo que los orbitales moleculares se generan mediante la superposición matemática de orbitales atómicos individuales.

Dependiendo de cómo interactúen las funciones de onda, pueden producirse interferencias constructivas o destructivas. La interferencia constructiva ocurre cuando las funciones de onda presentan la misma fase, aumentando la densidad electrónica entre los núcleos, favoreciendo la formación de orbitales enlazantes, los cuales estabilizan la molécula al disminuir la energía total del sistema donde existe alta probabilidad de encontrar electrones entre los núcleos atómicos. Lo contrario sucede con la interfase destructiva cuando las funciones de onda poseen fases opuestas se traslapan, ocasionan que se disminuya la densidad electrónica internuclear y origina orbitales

antienlazantes que desfavorecen la concentración electrónica entre los núcleos y genera efectos desestabilizadores sobre la molécula. (Fleming, 1976).

Otro concepto central de la TOM corresponde al orden de enlace, el cual permite cuantificar la fuerza y estabilidad del enlace químico a partir de la diferencia entre electrones ubicados en orbitales enlazantes y antienlazantes. Ver (ecuación 2). Para la fuerza del enlace se debe tener en cuenta que los valores altos de orden de enlace indican enlaces más fuertes y estables, mientras que valores iguales a cero indican imposibilidad de formación molecular. Para interpretar los resultados del orden de enlace ver (Tabla 4).

Ecuación 2.

Orden de enlace

$$OE = \frac{(e^- \text{enlazante}) - (e^- \text{no enlazante})}{2}$$

Tabla 4. Interpretación de resultados del orden de enlace

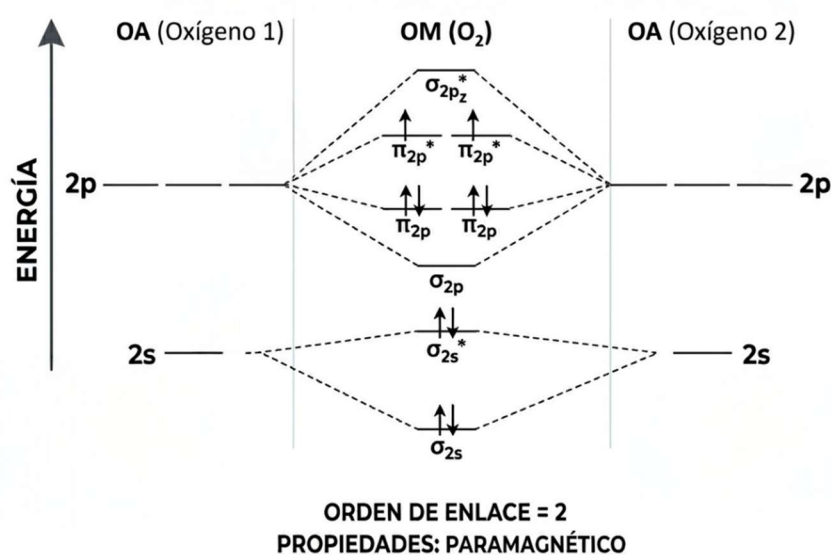
<i>Orden de enlace</i>	<i>Fuerza del enlace</i>
<i>OE = 0</i>	No hay enlace-La molécula no existe
<i>OE = 1</i>	Enlace sencillo
<i>OE = 2</i>	Enlace doble
<i>OE = 3</i>	Enlace triple

Nota: Elaboración propia

Esta teoría describe que los electrones no están ligados a un solo átomo en una molécula, sino que se encuentran deslocalizados sobre varios núcleos, también permite explicar las propiedades magnéticas de las moléculas mediante la distribución de electrones con el spin desapareados en orbitales moleculares. Cuando una molécula presenta electrones desapareados adquiere un carácter paramagnético y puede interactuar con campos magnéticos externos. En cambio, si todos los electrones se encuentran apareados, la molécula presenta un carácter diamagnético. (Mulliken R. , 1966)

Adicionalmente enseña la forma de representación visual con el diagrama del orbital molecular, que permiten interpretar la distribución electrónica en los niveles energéticos y como los orbitales atómicos de los costados laterales se combinan para formar los orbitales moleculares en el centro, prediciendo la estabilidad de las moléculas, orbitales enlazantes y antienlazantes, orden de enlace y las propiedades magnéticas de la molécula. (Atkins P. &., 2008)

Ilustración 3. Diagrama del orbital molecular.



Nota: Tomado de

[https://espanol.libretexts.org/Bookshelves/Quimica/Qu%C3%ADmica_General/Qu%C3%ADmica_a_le_\(OpenStax\)/08%3A_Teor%C3%ADas_Avanzadas_del_Enlace_Covalente/8.4%3A_Teor%C3%ADa_Orbital_Molecular](https://espanol.libretexts.org/Bookshelves/Quimica/Qu%C3%ADmica_General/Qu%C3%ADmica_a_le_(OpenStax)/08%3A_Teor%C3%ADas_Avanzadas_del_Enlace_Covalente/8.4%3A_Teor%C3%ADa_Orbital_Molecular)

Adaptación gráfica IA (Gemini, 2026)

Esta construcción ha permitido que hoy se pueda contar con fármacos más eficientes, exploración de nuevos materiales y nanotecnología que impulsa el desarrollo tecnológico.

5.2 Sobre el componente Didáctico CDC

El CDC (conocimiento didáctico del contenido) es un constructo teórico que integra el conocimiento disciplinar y el conocimiento pedagógico del profesor para abordar dificultades de enseñanza (Kind, 2009), ayudando a los estudiantes a comprender un determinado contenido (Nilsson, 2014) donde la formación de conocimiento docente y el desarrollo de la práctica en el aula conectan con el estudiante desencadenando en un aprendizaje comprensible y significativo (Shulman L. S., 1986).

En la enseñanza de las ciencias, específicamente en química, donde se manejan conceptos abstractos y formas representativas como simbología, visión macroscópica y microscópica (Gilbert J. &, 2009), el CDC es una herramienta que le permite al profesor traducir ese conocimiento en formas simples de representar y formular el contenido (Shulman L. S., 1987). Pero no todos los docentes cuentan con la capacidad de integrar conocimiento, técnica, reflexividad, dominio genérico, métodos de enseñanza y principalmente pedagogía (Shulman L. S., 1992), carecen de estrategias didácticas específicas, se enfocan en una enseñanza tradicional que limita el aprendizaje.

El CDC ha sido destacado en la didáctica de las ciencias por mejorar la competencia de la formación y desarrollo profesional docente; organizaciones dedicadas a promover la excelencia e innovación de la enseñanza de las ciencias como la *National Science Teachers Association* NAST (2012) y la National Council for Accreditation of Teacher Education NCATE (2008) resaltan la integración de componentes pedagógicos, didácticos y de contenidos en el desarrollo de construcciones reflexivas que permitan mejorar la práctica docente en diferentes contextos.

“El CDC es el tipo de conocimiento que distingue a un profesor de un científico y en su núcleo esta la manera en que transforma los contenidos científicos para enseñarlos” (Verdugo, 2017).

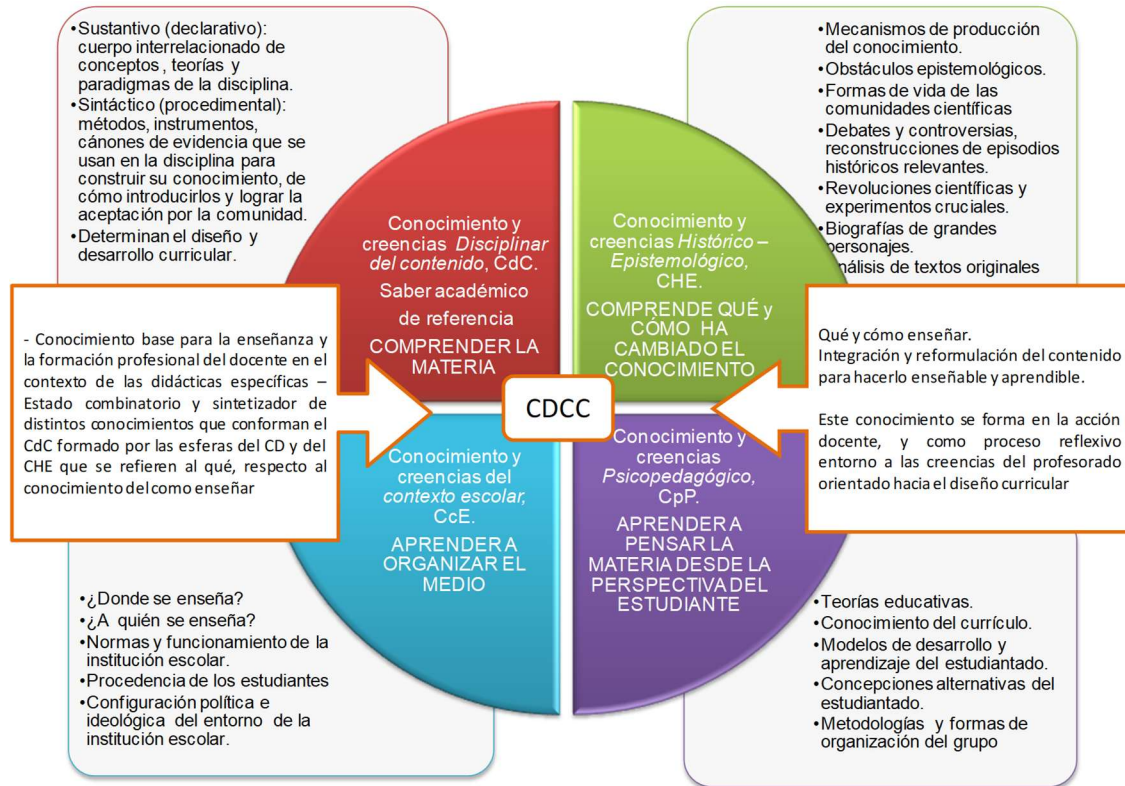
En este sentido, el CDC es una idea seductora y dinámica que se encuentra en constante evolución y de gran potencial heurístico pues toma contenidos y los lleva de lo básico a lo complejo, mejorando procesos formativos, logrando que un maestro pueda integrar conocimientos: *disciplinares*, como conceptos y principios propios de la disciplina a estudiar. *Meta disciplinares*, capaces de articular conocimientos histórico-epistemológicos y trasfondos sociales. *Psicopedagógicos*, siendo sensible para ver las dificultades del currículo, del aprendizaje, estrategias de enseñanza y evaluación y *contextuales*, conociendo el currículo, el entorno y vivencias que cada maestro integra de manera particular o única. (Mora & Parga, 2008)

Estos cuatro aspectos son pilares fundamentales del CDC para diseñar y desarrollar ideas aptas y enseñables de manera autónoma y crítica sobre contenidos. Sin embargo, solo responde a él ¿cómo se enseña? sirviendo como marco teórico de una estructura más grande llamada Conocimiento profesional del profesorado (CPP) que si contesta el ¿qué se enseña? lo que vale la pena enseñar, y ¿por qué se enseña? que justifica los propósitos éticos, morales y políticos de la educación.

Adicional a esto, el CDC puede ser una fuente para recoger las habilidades y conocimientos que utilizan los profesores cuando enseñan, cuyo producto de su ejercicio práctico individual, influenciado por sus conocimientos, creencias, contexto y experiencias propias, sirven de ejemplo para maestros en formación que inician su proceso y reconocen la importancia de la didáctica, cuentan con conocimientos académicos proveniente de procesos formativos, conocimientos pedagógicos del contenido CPC y como aplicarlos, y conocimientos experienciales, vivencias personales adquiridos a través de la práctica, pero que ven en el CDC, en distintas proporciones y

dependiendo las necesidades, orientación para que contribuya a mejorar la educación en ciencias.
(López, 2015).

Ilustración 4. Componentes del Conocimiento Didáctico del Contenido Curricular (CDCC)



Nota. Tomado de

https://www.researchgate.net/publication/331971512_El_Conocimiento_didactico_del_contenido_CDC_en_quimica. Mora y Parga (2008).

Dentro de los instrumentos propuestas por el CDC para el diseño de acción y reflexión del profesorado como medio de evaluación y desarrollo profesional docente se encuentran:

1. Repertorios de contenido (ReCo) y repertorios de experiencia profesional didáctica (ReEPD) Variables que afectan el aprendizaje constructivista de los contenidos. (Saberes, ejemplos, experiencias, estrategias, etc)

2. Formación de competencias o desempeños del estudiante como la enseñanza para la comprensión (EPC). Gradientes de evolución de las ideas (hilos conductores, tópicos generativos, metas de comprensión, desempeños de comprensión y evaluación continua) estudiados a profundidad para usar en contextos nuevos para construir significados propios.
3. Ámbitos de investigación docente (AIP) (planificación, decisiones, interacciones, evaluaciones)
4. Tramas conceptuales (redes de conceptos) interrelaciones que el docente organiza para estructurar el contenido que enseña articulado y comprensible.

El CDC ha contribuido a aclarar que la enseñanza es una problemática, cuestiona la enseñanza tradicional como un acto simple de transmisión de saberes, el maestro es el puente entre el saber científico, el currículo y el contexto del aula de clases, por lo que no se puede generalizar la educación. Se hace necesario reflexionar y entender el ejercicio docente que invite a cuestionar sobre la sociedad que se quiere formar exigiendo un rol activo de las partes que implique investigación y toma de posturas, capaz de problematizar los impactos, crear controversias y el estudio de implicaciones sociales.

Desafortunadamente las relaciones entre el conocimiento didáctico CD, conocimiento pedagógico CP y el conocimiento contextual CC, son escasas, se necesitan más estudios y modelos que permitan entender las correlaciones y aún queda mucho por entender en la investigación educativa (Kind, 2009; Shulman, 1987), de lo que se conoce en el caso de maestros ya en ejercicio, cuando necesitan una consulta lo hace en libros de texto como principal recurso y desde allí se asume la planeación y diseño curricular e implementación de su enseñanza, es difícil que se muden a nuevas prácticas, esto les implica trabajo extra que debido a la carga laboral se les hace imposible diseñar nuevas metodologías y materiales (Fullan, 2007)

El caso de maestros en formación promete sin duda un panorama más favorable, pues se inicia durante su proceso de formación permitiendo que tras su práctica transforme, trasponga o integre los contenidos, teniendo en cuenta el lenguaje que facilite la buena expresión y comprensión de las ideas con aprendizaje asertivo (Shulman, 1986), a futuro, el sueño de una educación digna y actualizada que pueda concretarse en diálogo con realidades sociales, culturales y científicas, parece inalcanzable, la realidad es otra, no hay una propuesta educativa común en el gremio y seguirá dependiendo de intereses particulares (Kind, 2009).

Algunos efectos negativos o problemas que influyen en la calidad del aprendizaje y la enseñanza son el bajo conocimiento disciplinar por parte del maestro, cuando no hay relación de contenidos y el estudiante no logra integrar conceptos, principios y teorías, debido a que hay lógica interna y epistémica que organice y secuencie los contenidos producto de una construcción histórica. Otro efecto identificado es el componente histórico-epistemológico del CDC, cuando no se tienen en cuenta los métodos, prácticas, instrumentos y modos de validación del conocimiento científico, esto impide desarrollar los contenidos con prácticas, por lo que no hay discusiones de cómo fueron aceptadas las teorías y que fenómenos fueron observados. Esta omisión impide comprender la ciencia como un proceso dinámico de construcción, contraste y validación reduciendo la enseñanza a la transmisión de resultados finales.

Por último, el efecto sobre el componente psicopedagógico, donde no hay respuesta cognitiva, emocional o social por parte de los estudiantes, estrategias didácticas erradas donde no les encuentran sentido a los contenidos, pues no cuentan con niveles de complejidad secuenciados que puedan superar. La TOM implica altos niveles de abstracción como: funciones de onda, orbitales enlazantes y antienlazantes, superposición y energía molecular. Todos estos efectos pueden ser abordados por medio de estructuras organizadas, orientadas y adaptadas para la

enseñanza de conceptos en ciencias, llamadas Tramas Conceptuales, las cuales pueden definirse como una estructura jerarquizada y relacional de conceptos científicos que organiza los contenidos en niveles crecientes de complejidad, estableciendo conexiones explícitas entre ideas fundamentales, conceptos subordinados y contextos de aplicación. De esta manera, la trama conceptual fortalece el componente psicopedagógico del CDC.

La comprensión de la TOM exige que los estudiantes cuenten con bases conceptuales sólidas acerca de cómo esta constituida la materia y de los procesos que ocurren a nivel atómico. Tal cómo se expone en la formulación del problema, uno de los principales obstáculos en la enseñanza de la química cuántica radica en la dificultad para interpretar entidades no observables y altamente abstractas como los orbitales y la distribución electrónica. Estas dificultades se agudizan cuando los estudiantes son incapaces de relacionar de forma coherente los niveles submicroscópico, macroscópico y simbólico del conocimiento químico, lo que fragmenta el proceso de aprendizaje (Johnstone, 1993). Interpretar y comprender representaciones espaciales en tres dimensiones exige habilidades cognitivas específicas que las estrategias tradicionales, enfocadas casi exclusivamente en formatos bidimensionales, no logran desarrollar (Gilbert J. , 2006).

Desde el punto de vista cognitivo, el aprendizaje significativo está condicionado por la existencia de estructuras conceptuales previas bien organizadas (Ausubel, 2002). Esto obliga a afianzar contenidos fundamentales como los números cuánticos y la configuración electrónica como paso previo e indispensable antes de introducir modelos de mayor abstracción como la TOM. En consonancia con esta postura, Talanquer (2011) señala que la construcción de modelos explicativos realmente funcionales en química pasa por vincular de manera directa la estructura electrónica con el comportamiento químico observable de la materia.

5.3 Sobre la contextualización del contenido

Los aportes a la educación y pedagogía destacan la importancia de implementar un componente más realista y experimental, para un aprendizaje significativo (Dewey, 2004). Relacionar los conocimientos científicos con situaciones cotidianas, fomentar la resolución de problemas, el desarrollo del pensamiento autónomo y crítico, donde la motivación es importante porque genera interés y participación del estudiante. Dewey (2004), propuso un modelo educativo centrado en el estudiante destacando la relevancia de la educación para la vida práctica de los estudiantes. Por otra parte, enseñar química desde la contextualización para introducir, desarrollar conceptos y modelos donde se explora el enfoque para una enseñanza significativa, nos sitúa donde se pueden relacionar los conceptos y el mundo que nos rodea (Caamaño, 2011).

Desde los principios epistemológicos y la filosofía de las ciencias, el empirismo es la intuición de un conocimiento sensorial y la experiencia, la base de todos los conocimientos (Locke, 2004). La relación entre el empirismo y la contextualización puede comprenderse desde una perspectiva epistemológica y didáctica. En el desarrollo de las ciencias naturales, esta postura fundamentó la centralidad del método experimental y la validación empírica de las teorías científicas.

Para el constructivismo, los procesos cognitivos son construcciones o constructos mentales de la realidad, en el enfoque para la enseñanza de las ciencias desde el contexto, la evaluación es una parte importante ya que no solo mide el conocimiento adquirido, sino que, es otro recurso para que el estudiante continúe su proceso educativo, reflexión y desarrollo del pensamiento crítico, anclado a la experiencia. Se realizó toda esta consulta para concluir que hay muchos autores que aportan a que la educación debe estar relacionada con la vida real del estudiante, para que sea una educación más coherente y significativa (Popper, 1962).

En el ámbito educativo, la contextualización del contenido científico puede entenderse como una traducción pedagógica de este principio epistemológico. Al situar los conceptos en fenómenos observables, problemas reales o situaciones cercanas a la experiencia del estudiante, se favorece la construcción de significados y se reduce la abstracción desarticulada del contenido. De este modo, la contextualización no solo cumple la función motivacional, si no también epistemológica, al aproximar el aprendizaje a la lógica histórica de la construcción del conocimiento científico.

En el caso de la TOM, contextualizar implica partir de fenómenos concretos como propiedades magnéticas, espectros de absorción o transformaciones químicas, para posteriormente introducir los modelos teóricos que los explican. Así el estudiante transita desde la experiencia observable hacia la formalización abstracta, reproduciendo en cierta medida la dinámica empírico-teórica del desarrollo científico.

6. DISEÑO METODOLÓGICO

6.1 Caracterización del enfoque investigativo.

El proceso investigativo se desarrolla desde la *metodología cualitativa* por cuanto pretende dar razón de los significados, relaciones y construcciones sociales desde la perspectiva de los participantes. Parte de un enfoque *descriptivo-interpretativo*, dado que intenta explicar las comprensiones y estrategias que los profesores manejan para la contextualización del concepto TOM en función de su CDC (Hernandez-Sampieri & Mendoza Torres, 2018).

Se hace uso de estudio de caso (Gummesson, 2000) como método que permite la exploración situacional a profundidad de lo que sucede en el entorno de aula en diferentes niveles educativos (escolar, universitario y educación para el trabajo y desarrollo humano), que permite analizar la complejidad de las relaciones entre componentes del CDC (como el conocimiento del contenido, del estudiante, de la enseñanza, del currículo, etc.) y las estrategias de contextualización utilizadas, ya sea de manera individual (cómo entiende el CDC del docente) y luego comparar entre casos para encontrar patrones, diferencias o relaciones.

A continuación, se presenta una caracterización del proceso investigativo.

Tabla 5. Caracterización de la investigación de acuerdo con criterios.

Caracterización de la investigación		
Criterio	Clasificación	Descripción
Finalidad	Básica	Busca construir algunas comprensiones fundamentales sobre el abordaje de la TOM desde el CDC y aportar alternativas sobre el proceso de contextualización del contenido.
Alcance Temporal	Transversal	La investigación se extiende a una sucesión de momentos temporales, se hacen cortes transversales (fases del proyecto) para realizar la caracterización del CDC, la construcción de alternativas y el análisis entre CDC/contextualización en torno a la TOM.
Profundidad	Descriptivo	Se establecen unos criterios de análisis para la valoración del CDC t se pretende enunciar las relaciones existentes entre CDC y contextualización de la TOM.
Amplitud	Micro-sociológica	Se trabajan con tres profesores, uno en el ámbito escolar, otro universitario y otro relacionado con la educación para el trabajo y desarrollo humano.
Carácter	Cualitativo	Se analizan diferentes cualidades relacionadas con las dimensiones del CDC y las estrategias de contextualización del contenido por parte de os profesores participantes.

Objeto Social	Educativa	Brinda una mirada sobre los procesos de enseñanza y aprendizaje en torno a la noción de la TOM buscando ofrecer alternativas de contextualización del contenido.
Marco	Campo	Se observa e interactúa con la población objeto de estudio en determinadas fases del proyecto.

Nota. Elaboración propia

7.2 Población objetivo.

El proceso investigativo se abordará con docentes de química en ejercicio seleccionados intencionalmente en la ciudad de Bogotá de diferentes entornos del sistema educativo colombiano, para representar un contenido disciplinar con una variedad de perfiles como niveles de formación, trayectoria profesional, edad y estilos didácticos, que permitan enriquecer el análisis comparativo (escolar, universitario, de formación técnica/tecnológica), la unidad de muestreo refiere a las prácticas de los profesores y es de orden social.

6.3 Fases del desarrollo del proyecto.

Para el desarrollo del proceso investigativo se contempla un diseño en tres fases, que se describen a continuación:

6.3.1 Fase de caracterización CDC declarativo de los docentes de química

En esta fase se realiza una caracterización de las dimensiones del CDC declarativo que incluye los dominios de: el contenido disciplinar, el cómo entiende él estudiante, las estrategias de enseñanza usadas, la articulación con el currículo y los modos a evaluar; los cuales interactúan con sus propias relaciones para conformar el mapa personal o declarativo de cada docente de química

participante cuando realiza el abordaje de la TOM (Soto Mardones, 2016). Empleando el uso de instrumentos propios del CDC como lo es el documento de Representación del Contenido (ReCo), la entrevista semiestructurada y el empleo de matrices para revisión de documentos y/o materiales de apoyo empleados por los docentes durante su ejercicio práctico. Para el análisis y organización de datos se utiliza el software ATLAS. ti, con la información suministrada se procede a elaborar el mapa declarativo de cada profesor.

6.3.2 Fase de revisión y construcción de las alternativas de contextualización

En esta fase se realiza un proceso de revisión documental disciplinar/contextual de varios estudios en relación con los diferentes entornos y/o escenarios que faciliten la enseñanza de la TOM, para ello se plantea un mapeo de contextos que permita situar este concepto científico en un entorno aplicable (Putter-Smits, 2013) que identifique, caracterice y compare, mediante los criterios propuestos que evalúen: el ámbito del contexto, la función didáctica, el nivel de abstracción, la conexión conceptual, los recursos necesarios y la competencia que potencia, destacando los entornos más acertados de enseñanza (Gilbert J. , 2006); (Bennett, 2007); (Aikenhead, 1994); (Hodson, 1998).

También se plantean dos prácticas de laboratorio como entornos de aprendizaje situado, donde la Tostión del café y la acetilación del ácido acetilsalicílico, articulan el conocimiento científico y el fenómeno observado. Finalmente se plantea el prototipo “Ábaco cuántico”, un material manipulable tridimensional que permite reducir la brecha de la visión espacial del átomo y su configuración electrónica.

6.3.4. Fase de análisis de relaciones CDC/Contextualización

En esta fase se construyen las relaciones entre las dimensiones del CDC y los procesos de contextualización del contenido frente a TOM, para ello se identifican patrones de convergencia y divergencia mediante triangulación de datos entre los diferentes casos estudiados y la construcción de los contextos sugeridos para la enseñanza del TOM.

6.4 Instrumentos y/o técnicas de recolección de información.

Se tienen en cuenta diferentes tipos de técnicas a nivel observacional, documental y conversacionales para la toma y recolección de información (Flick, 2015), que buscan en conjunto brindar una interpretación frente al CDC y el proceso de contextualización frente el contenido TOM. Para ello, se tienen en cuenta los siguientes instrumentos asociados:

- Entrevistas semiestructuradas, que buscan explorar los componentes del CDC y su articulación con la contextualización siguiendo la ruta de la investigación cualitativa (Hernández-Samperi, 2018). (Ver anexo 1)
- Instrumento de representación del contenido (ReCo) en función del contexto educativo y la experiencia docente.
- Revisión de documentos y material didácticos, para visualizar correspondientes y/o coherencias a nivel de intención/metodología.
- Cuestionario, correspondientes al instrumento de representación del Contenido (ReCo) adaptado por Mora y Parga (2008). (Ver anexo 2)
- Registros documentales, asociados a la revisión de escenarios susceptibles de contextualización.

6.5 Criterios de análisis

Se tendrán en cuenta las categorías iniciales a partir de los componentes del CDC, establecidas por (Mora, 2015) y la construcción de categorías emergentes en la medida que se realiza la revisión documental y la caracterización de las prácticas de enseñanza de los profesores de química de acuerdo con la siguiente tabla (Tabla 6).

Tabla 6. Categorías iniciales de caracterización de CDC

Categorías	Ejemplos de componentes para cada categoría del CDC
<i>Conocimiento/creencias de lo disciplinar (CD)</i>	• Sustantivo (declarativo): cuerpo interrelacionado de conceptos, teorías, paradigmas de la disciplina. • Sintáctico (procedimental): métodos, instrumentos, cánones de evidencia que usa la disciplina para construir su conocimiento
<i>Conocimiento/creencias de lo metadisciplinar (CM)</i>	• Mecanismos de producción del conocimiento • Obstáculos epistemológicos • Formas de vida de las comunidades científicas • Debates y controversias • Revoluciones científicas y experimentos cruciales • Biografías de grandes personajes, análisis de textos originales
<i>Conocimiento/creencias del contexto (CC)</i>	• ¿Dónde se enseña? • ¿A quién se enseña? • Normas de funcionamiento de la institución escolar • Normativa nacional, ej. Estándares • Configuración cultural, política, ideológica, entre otras, de la institución escolar
<i>Conocimiento/creencias frente a los psicopedagógico (CP)</i>	• Teorías educativas • Conocimiento del currículo • Modelos de desarrollo y aprendizaje del estudiantado • Modelos mentales • Estrategias de enseñanza • Metodologías y formas de organización de grupos • Criterios de evaluación

Nota: Tomado de Mora y Parga (2015)

6.6 Resumen del diseño metodológico

Tabla 7. Aspectos metodológicos del proceso de investigación.

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVO GENERAL	ESPECÍFICOS	FASES	ACTIVIDADES	RESULTADOS	PRODUCTOS
¿Cuáles son las relaciones entre las dimensiones del Conocimiento Didáctico del Contenido y las estrategias de contextualización del contenido para la enseñanza del concepto de orbital molecular en profesores de química en ejercicio?	Analizar las dimensiones del Conocimiento Didáctico del Contenido en torno al concepto Teoría del orbital molecular y su relación con las estrategias de contextualización para su enseñanza.	Caracterizar las concepciones y prácticas de profesores de química en ejercicio sobre el concepto Teoría del orbital molecular desde las dimensiones del CDC.	<i>Fase de Caracterización CDC de los profesores de química</i>	• Aplicación de instrumento ReCo, entrevistas y revisión de documentos didácticos y recursos. • Descripción de CDC docente y prácticas de enseñanza TOM.	Profesores caracterizados en torno al CDC declarativo en sus prácticas de enseñanza frente TOM	Apartado de resultados y análisis sobre caracterización de profesores.
		Construir alternativas de contextualización para la enseñanza del concepto Teoría del orbital molecular en educación media y universitaria.	<i>Fase de revisión y construcción de escenarios de contextualización</i>	• Construcción de protocolo de revisión documental en contexto • Construcción de escenarios de contextualización didáctica de TOM.	Alternativas de contextualización construidas	Documento con Escenarios de contextualización construidos
		Establecer relaciones entre los componentes del CDC y las estrategias de contextualización para la enseñanza del concepto Teoría del orbital molecular.	<i>Fase de análisis de relaciones CDC/Contextualización</i>	• Identificar relaciones entre caracterizaciones y escenarios de contextualización. • Identificar relaciones entre caracterizaciones y prácticas de los profesores.	Relaciones entre CDC y contextualización desarrolladas.	Apartado de análisis de relaciones CDC/Contextualización

Nota: Elaboración propia.

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

7.1. Fase de caracterización CDC declarativo de los docentes de química

La caracterización CDC se realizó a partir de los Criterios de análisis- Mora y Parga (2015), mediante un proceso de triangulación de datos que integró tres fuentes principales:

1. Revisión de la literatura científica y educativa relacionada con la TOM y sus aplicaciones.
2. Análisis comparativo de diez (10) contextos identificados como potenciales escenarios de enseñanza.
3. Aplicación de criterios explícitos para la valoración de la articulación entre contextos.

Fue posible identificar tendencias que se repiten, también permitió establecer relaciones entre las dimensiones del CDC y los procesos de contextualización, fortaleciendo la validez del análisis.

En una primera fase se realizó el proceso de codificación Axial de la información desde el Software ATLAS. Ti, identificando unidades de significado a partir de los datos recolectados, esto nos permitió visualizar vínculos entre códigos, familias de códigos y los documentos. Agrupando fragmentos de textos en categorías y subcategorías previamente definidas desde el marco del CDC, los códigos se asociaron a dimensiones como conocimiento disciplinar, histórico epistemológico, psicopedagógico y contextual, como se muestra en la tabla 8. Esto facilitó identificar convergencias, tensiones y predominancias entre las dimensiones del CDC de los docentes participantes en una sola unidad. La relación surge en lo declarado y las relaciones o el vínculo con un componente del CDC. (López-Cortéz, 2016).

Tabla 8. Categorías y subcategorías codificación software ATLAS. Ti

CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA
<i>Conocimiento disciplinar</i>	Fundamentación cuántica
	Distribución electrónica
	Enlaces moleculares y energía
	Espín y propiedades Magnéticas
	Limitaciones y alcances de la TOM
	Representaciones y modelos de TOM
<i>Conocimiento histórico-epistemológico</i>	Origen y evolución de la TOM
	Instrumentos y evidencias históricas
	Debates y transiciones teóricas
	Contextos científicos relevantes
<i>Conocimiento psicopedagógico</i>	Dificultades y concepciones previas de estudiantes
	Estrategias de cambio conceptual
	Secuenciación didáctica de contenidos
	Evaluación del aprendizaje en TOM
<i>Conocimiento contextual</i>	Adaptación a recursos disponibles
	Articulación con currículo oficial
	Uso de contextos y entornos reales o simulados
	Integración con otras asignaturas o áreas

Nota. Elaboración propia.

Los resultados se sistematizaron en una tabla y se expresaron en porcentajes para comparar similitudes y diferencias dependiendo el nivel educativo en el que cada profesor ejerce su práctica.

(Ver anexo 3)

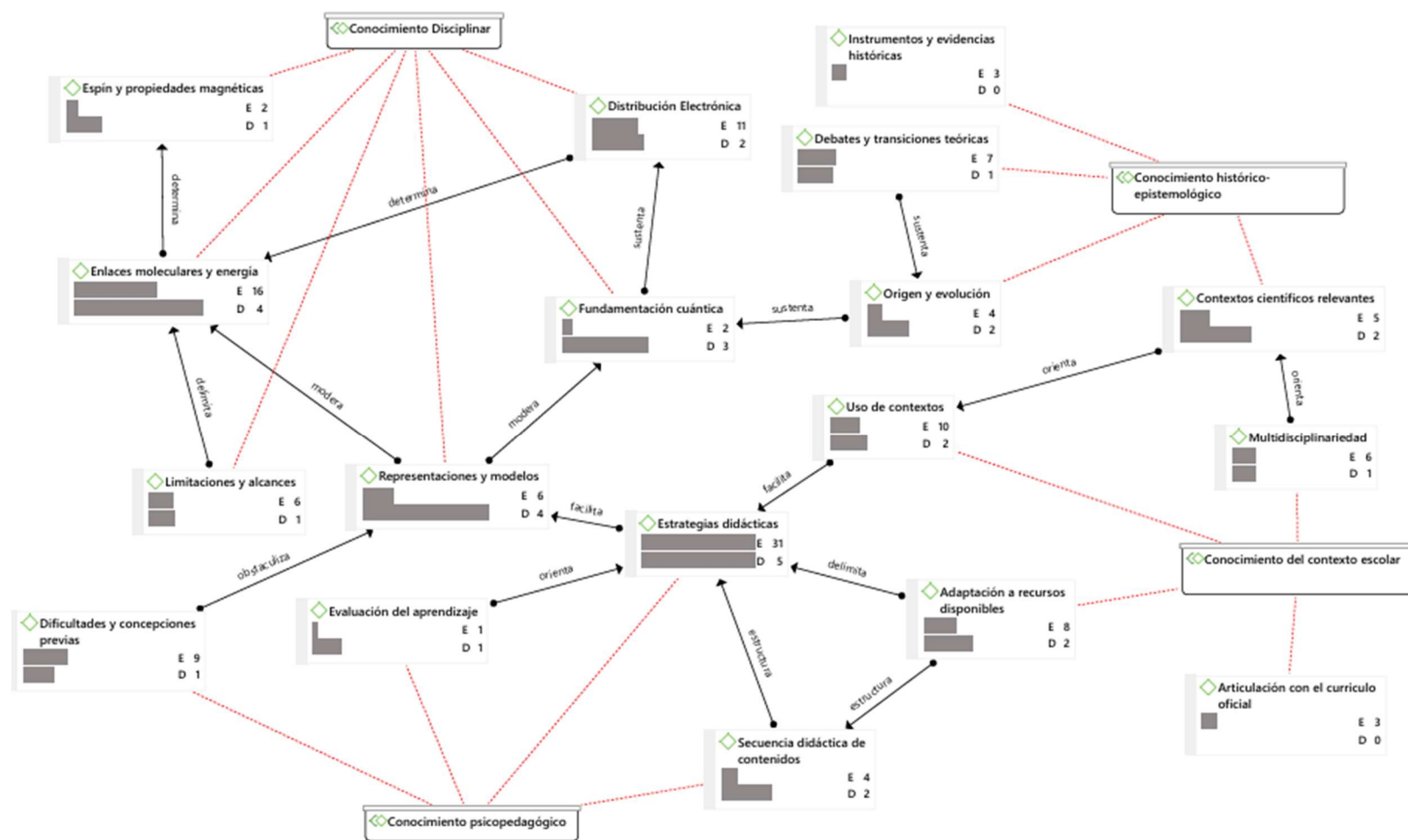
Se analiza cada maestro por separado para evidenciar las particularidades formativas y pedagógicas propias de cada contexto educativo. Inicialmente se realizó la suma de las frecuencias de aparición de las subcategorías asociadas al CDC, obteniendo un valor total por categoría. Para efectos analíticos, el conjunto de categorías que conforman el CDC de cada docente se consideró como un 100%, lo que permitió calcular la distribución porcentual de cada dimensión en relación con el total del CDC individual.

Para la segunda fase se emplearon redes semánticas como técnica de mapeo declarativo. Estas redes permitieron visualizar la estructura del pensamiento docente, identificando códigos de alta densidad y códigos periféricos. Esta metodología facilitó la identificación de las trayectorias de pensamiento, permitiendo evidenciar patrones, conexiones y núcleos conceptuales.

Finalmente, a partir de la interacción de dichas redes, se llevó a cabo la elaboración de mapas declarativos, los cuales se constituyen como una herramienta que sintetiza el pensamiento declarado por el docente sin la observación directa de la práctica, si no desde las creencias, decisiones y justificación que el docente expresa sobre su enseñanza, permitiendo caracterizar su CDC (Soto Mardones, 2016).

7.1.1 Análisis del docente de Educación secundaria

Ilustración 5. Red semántica docente educación secundaria generada en ATLAS, ti.



Nota: Elaboración propia

Al analizar la red del docente de secundaria, se encontró que el dominio psicopedagógico es el eje central, con un 33,59% de las menciones, las estrategias didácticas (E31) actúan como código articulador de toda la red. El profesor identifica que las dificultades y concepciones previas (E9) de los alumnos son el principal impedimento, las cuales, obstaculizan la comprensión de las representaciones y modelos (E6).

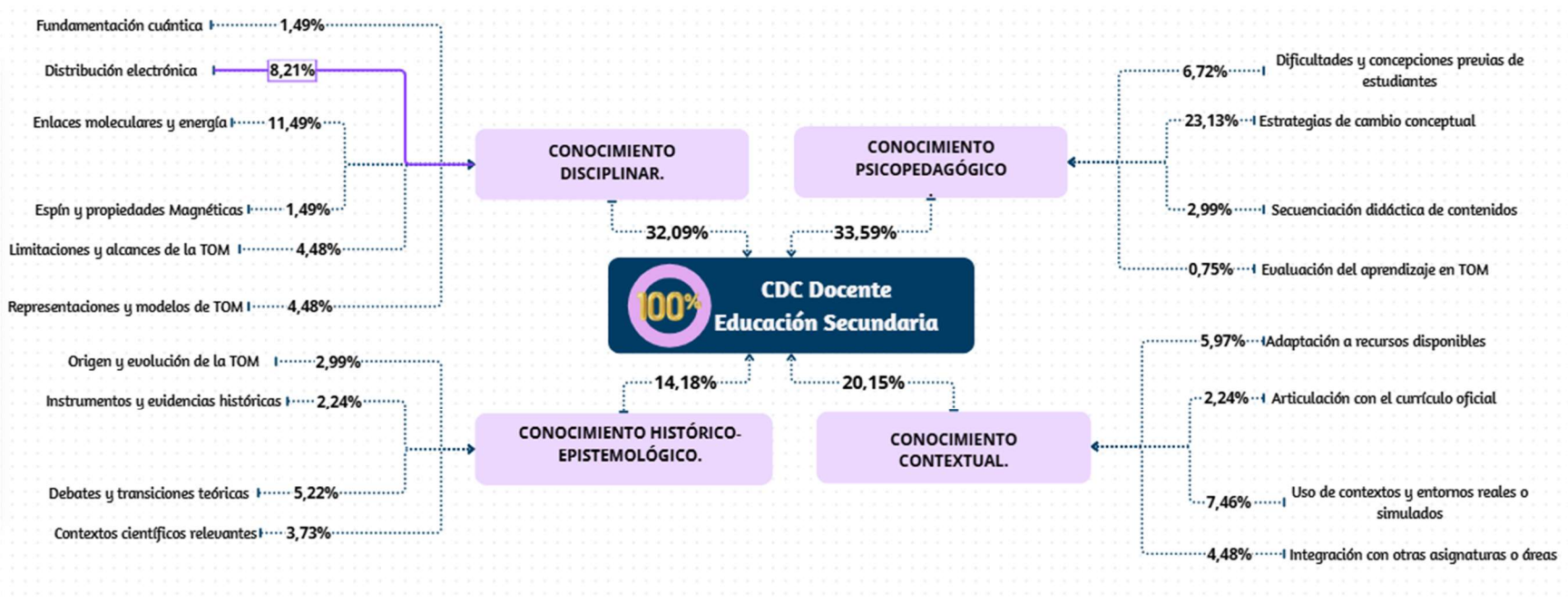
El dominio disciplinar está centrado en enlaces moleculares y energía (11,49%). En la red se observa que el docente entiende que la distribución electrónica sustenta la fundamentación cuántica, pero esta última tiene presencia mínima en el discurso (solo 1,49%).

En el dominio contextual el docente tiene idea de que el uso de contextos (E10) facilita el aprendizaje, pero su pensamiento está limitado por la adaptación de recursos disponibles (E8), la cual delimita sus estrategias.

La dimensión histórico-epistemológica es la más débil (14,18%). El profesor posee ideas aisladas sobre los debates y transiciones teóricas que sustentan el origen y evolución de la química y la fundamentación cuántica, pero no logra conectarlas con los debates actuales o instrumentos históricos para enriquecer la enseñanza.

La ruta semántica revela un pensamiento docente volcado hacia la gestión del aula y la superación de barreras cognitivas. El código de estrategias didácticas como centro, desde donde se facilitan en el uso de contextos y se orientan las evaluaciones, demostrando que para este docente el “como enseñar” prevalece sobre la profundidad del contenido. Sin embargo, su ruta de acción se encuentra tensionada por la adaptación de recursos disponibles, que funciona como código que delimita la implementación de innovaciones, caracterizando un CDC que busca el cambio conceptual pero que se siente restringido por el entorno institucional.

Ilustración 6. Mapa declarativo del CDC docente de educación secundaria.*



Nota. Elaboración propia.

* En concordancia con la red semántica, su mapa declarativo presenta mayor influencia el conocimiento psicopedagógico que refleja una práctica centrada en como aprenden los estudiantes; presenta fortalezas en adaptar y simplificar la Teoría del Orbital Molecular (TOM). Invierte esfuerzos en el diseño de actividades que motiven al estudiante, procura siempre identificar las ideas previas y estudia estrategias de comprensión que ayuden a sus estudiantes a tener un aprendizaje asertivo.

Se centra en facilitar el aprendizaje, comprender las dificultades cognitivas y mediar contenidos complejos que promuevan la curiosidad y actitud investigativa. Dentro de sus estrategias didácticas se destacan volver al uso de recursos manipulables como rompecabezas, recortes, modelos, etc. También el uso de simuladores y recursos visuales, trabajo colaborativo en el aula y sustentaciones orales argumentativas constantes sobre fenómenos que permitan vincular el conocimiento científico con su cotidianidad. Evalúa los procesos más que los resultados por lo que su enseñanza es centrada en el estudiante, muy coherente con su conocimiento Psicopedagógico que es el que predomina.

“yo trabajo más que todo en el aula, no estoy dejando casi nada para la casa...para mi es muy valioso verlas a todas preparando sus sustentaciones, leyendo, discutiendo entre ellas”

Aunque el docente comunica que este concepto no se aborda de manera explícita, si lo aborda implícitamente al abordar los fundamentos desde el modelo atómico cuántico permitiendo explicar la formación de enlaces y las propiedades macroscópicas de la materia.

“En secundaria casi no trabajamos mucho el concepto de orbital molecular...no se les menciona específicamente el orbital molecular y teoría cuántica”

Por lo que su conocimiento disciplinar es selectivo y adaptado, estructurado de forma progresiva, centrado en la configuración electrónica, niveles energéticos y electrones de valencia como ejes explicativos del enlace químico, lo que identifica un plano sustantivo de ideas puente que preparan al estudiante para futuros modelos y teorías.

“primero trabajo todo lo de configuración electrónica...y sobre esa base se explica enlace químico más desde la teoría cuántica”.

Por otro lado, el componente sintáctico es limitado, no representa un nivel de rigor estricto más bien se limita a que los estudiantes tengan una aproximación conceptual básica con conceptos

estructurantes como electronegatividad, potencial de ionización, propiedades periódicas y tipos de enlace, que no requieren de formalismos abstractos, un aspecto acorde a las características cognitivas de este nivel educativo.

“tampoco se menciona mucho sobre los cuatro números cuánticos, sino más bien que entiendan bien la distribución y la concepción del modelo atómico actual...con que entiendan distribución electrónica y la noción de enlace polar, apolar, me doy por bien servido”

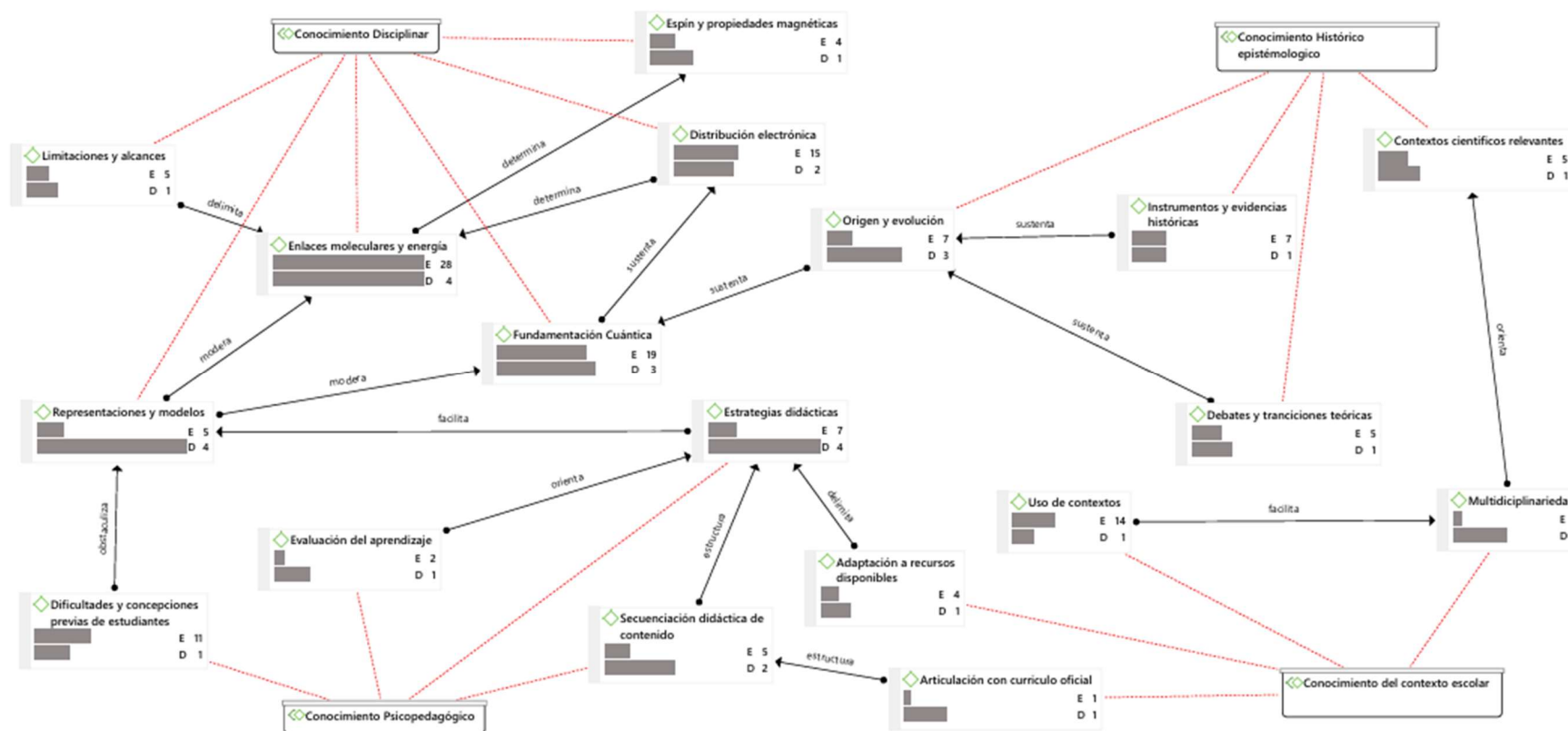
En cuanto al contexto escolar, este se ve permeado por factores institucionales y socioculturales que moldean la práctica docente. El docente adapta su enseñanza, recursos, tiempos, diversidad estudiantil y prioridades institucionales, identificando las dificultades que condicionan la profundidad y priorización de las temáticas, se refiere específicamente a la falta de tiempo. También identifica una educación actual mediada por inteligencia artificial por lo que se requieren estrategias de contextualización constantes.

“Hoy en día estamos mediados por la inteligencia artificial...el conocimiento está ahí pero no lo vinculan con nada de lo cotidiano”

Se evidenció un uso intencional de la historia de la química como recurso didáctico, así como la evolución de los modelos atómicos como evidencia de que la ciencia no es estática, sino que se renueva mediante las nuevas evidencias. Posee conocimiento histórico epistemológico sobre los experimentos cruciales de los fundamentos teóricos de la TOM como el del experimento de Rutherford en 1911 y el bombardeo de la lámina de oro, como antecedente histórico para la identificación de un núcleo pequeño, denso y con carga positiva en el átomo.

7.1.2 Análisis del docente de Educación técnico laboral

Ilustración 7. Red semántica docente técnico laboral generada en ATLAS, ti.



Nota: Elaboración propia.

El pensamiento de este docente se estructura bajo una lógica de “operatividad y fundamento”, donde el contenido técnico manda sobre la mediación. En el dominio disciplinar a diferencia del de secundaria, aquí el nodo central es enlaces moleculares y energía (E28). El docente reconoce que este conocimiento es el que media y determina la comprensión de la TOM.

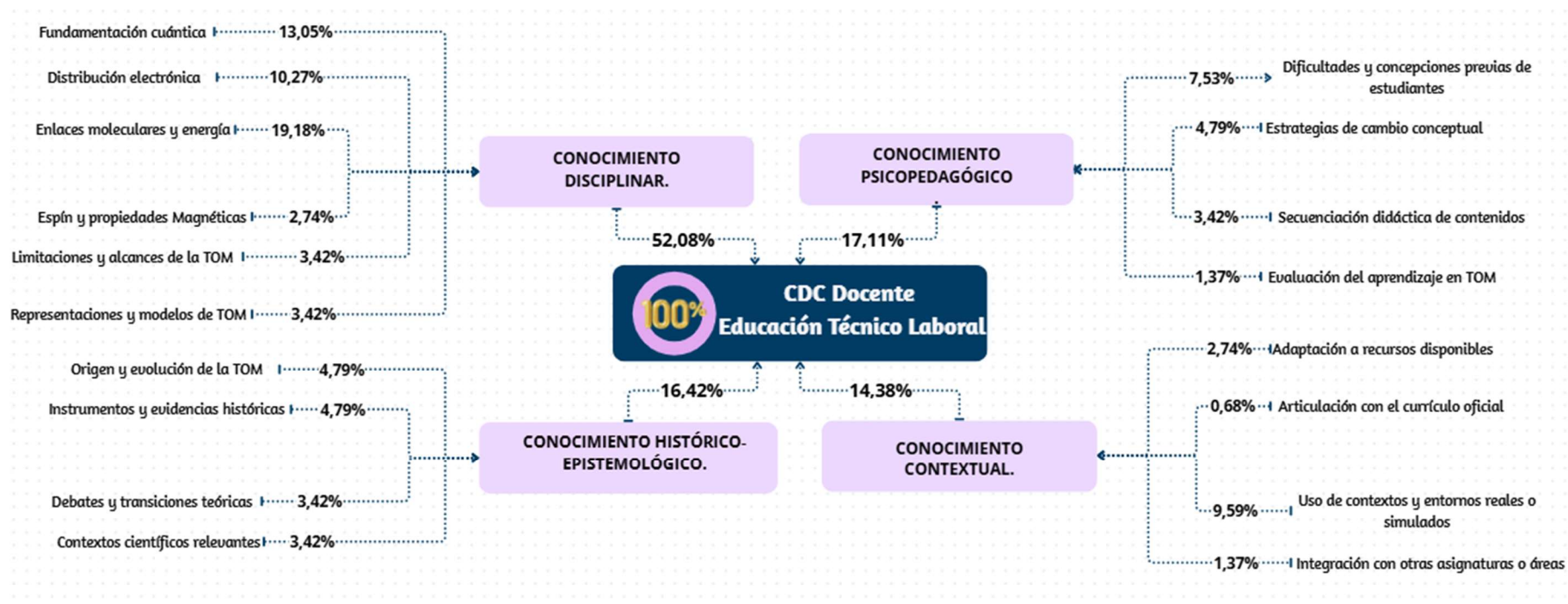
Se evidencia una preocupación por la fundamentación cuántica (E19), la cual es entendida por el docente como la base necesaria para posterior aplicación industrial. En este perfil, el pensamiento pedagógico queda subordinado a la disciplina; las estrategias didácticas no operan como el núcleo del proceso, sino que aparecen como herramientas instrumentales para facilitar la comprensión de las dificultades de los aprendices. Así, el enfoque del profesor se centra en la secuenciación de contenidos con el objeto explícito de garantizar que el aprendiz “sepa qué hacer”.

Por otra parte, el uso de contextos (E14) adquiere un peso mayor y más específico. El docente vincula la TOM con contextos científicos relevantes y procesos de multidisciplinariedad, concibiendo la química como una herramienta fundamental para otras áreas técnicas.

En el dominio histórico-epistemológico se observa una integración mejor articulada; el origen histórico no se utiliza como un simple dato curioso o anecdótico, sino como un sustento epistemológico que facilita la comprensión de modelos actuales de representación. Y determina la comprensión de las propiedades de la materia. Su pensamiento sigue una trayectoria lineal y funcional, donde el dominio del contenido técnico es el que dicta por completo la secuencia didáctica, vinculando la teoría directamente con la multidisciplinariedad y la utilidad del modelo en contextos laborales específicos.

La ruta semántica del docente se desplaza desde el énfasis pedagógico hacia un rigor disciplinar aplicado. Dentro del esquema, los protagonistas son los enlaces moleculares y la energía, mientras que la fundamentación cuántica se convierte en el soporte que sustenta la distribución electrónica.

Ilustración 8. Mapa declarativo del CDC docente de educación Técnico Laboral*.



Nota. Elaboración propia

* La red y el mapa del docente para la formación en el trabajo evidencian un dominio sólido de los principios teóricos de la TOM y su articulación directa con técnicas instrumentales como espectroscopía infrarroja (IR), UV-Vis y la absorción atómica. Esta relación resulta clave en la toma de decisiones analíticas, proporcionando el sustento necesario para interpretar los espectros y fenómenos fisicoquímicos estudiados. Así, el profesor declara un contenido sustantivo de este concepto, utilizándolo como el soporte explicativo fundamental a la hora de analizar y dar sentido a los resultados obtenidos en el laboratorio.

Mientras que su enfoque práctico es operativo y orientado a competencias productivas, procedimientos industriales o del laboratorio, en cuanto al componente sintáctico está asociado a la utilidad en el laboratorio y reproducibilidad en el laboratorio, típico de una formación en el contexto técnico, por lo que el conocimiento disciplinar de transmisión de contenidos es el eje de su formación, el poder explicar e interpretar fenómenos químicos, con dominio conceptual aplicado a procesos reales en donde la TOM es un soporte explicativo para fenómenos observables que le permitan solucionar problemas técnicos sin abordarse como un modelo teórico formal.

“Este fundamento le permite a los aprendices tomar decisiones sobre lo que están viendo y sobre todo los resultados que están obteniendo...entender que es lo que está sucediendo allí”

Al enseñar este contenido cuenta con algunas dificultades por parte de los estudiantes como la visión espacial, complejidad de los fundamentos cuánticos, tendencia al aprendizaje memorístico y emociones negativas frente a la disciplina, por lo que el conocimiento psicopedagógico es deficiente, el acompañamiento es enfocado a la adquisición de habilidades y experiencia práctica más que la construcción conceptual profunda, por lo que se enfoca en la generalidad del contenido químico. Las estrategias se centran en la repetición de procedimientos y evaluación de desempeño técnico.

“Una de las dificultades más grandes es la capacidad de abstraer lo que ellos no ven”

Evalúa el aprendizaje de acuerdo con unas evidencias de conocimiento, de desempeño (laboratorio) y de producto (informes técnicos).

“en el SENA tenemos tres tipos de evidencias: evidencias de conocimiento, evidencias de desempeño y evidencias de producto”

Reconoce que la ciencia es la construcción progresiva de conocimiento, partiendo de la filosofía atomista de Demócrito y Leucipo, los cambios de paradigma de Kuhn, menciona las

revoluciones científicas y sus aportes a la formación de sociedad, así como la importancia de la TOM en los avances científicos.

“la construcción de la ciencia es un paso a paso...revoluciones científicas como hablaba Thomas Kuhn”

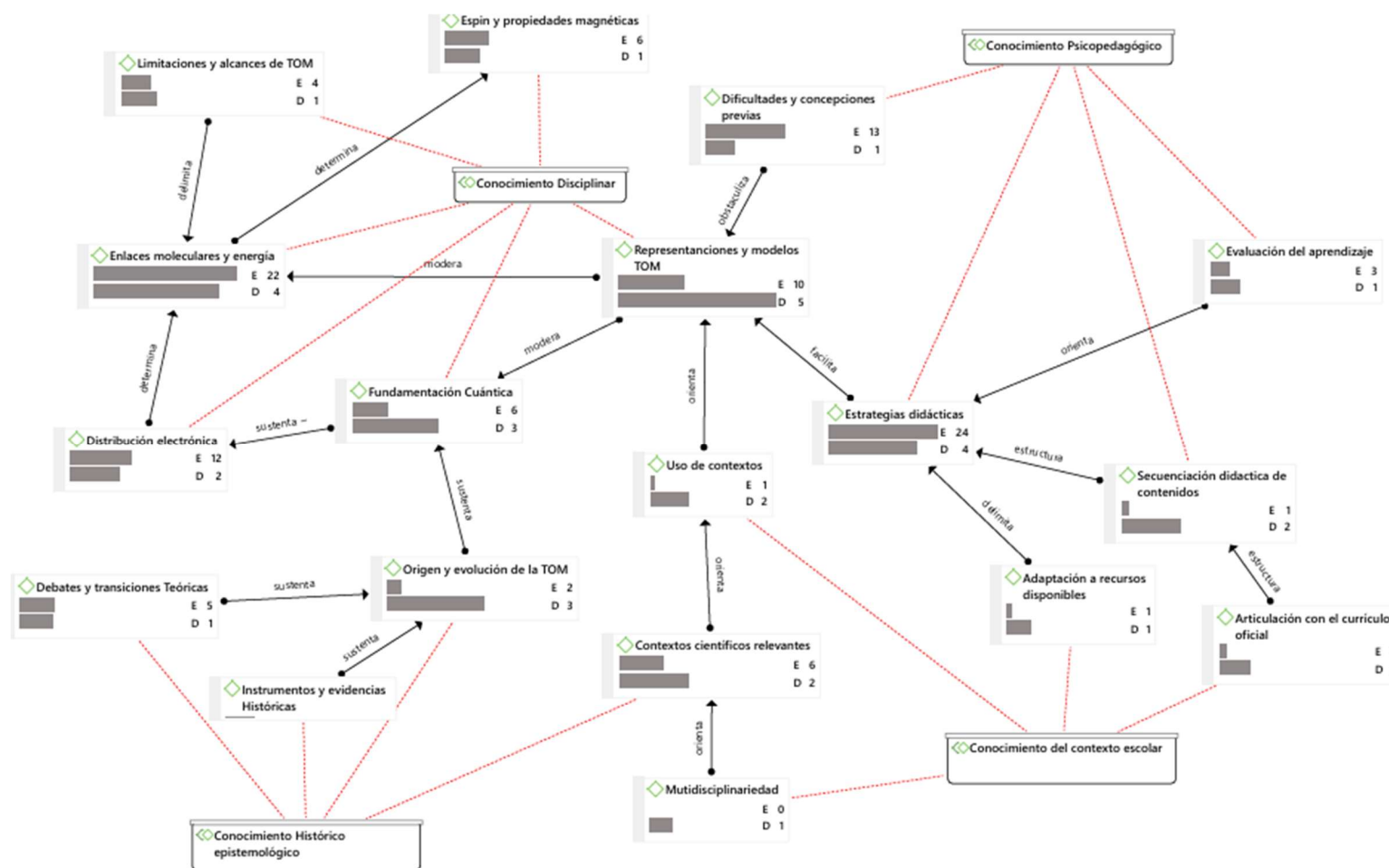
El conocimiento histórico epistemológico está presente como fundamento teórico pues asegura la confiabilidad de los métodos y resultados que se aplican, considera este conocimiento como un conocimiento de cultura general y no como eje de su enseñanza, ya que no tiene en cuenta la evolución científica de la teoría solo los resultados y aplicación.

“La formación en el SENA es formación para el trabajo...nuestros aprendices van como analistas químicos...nuestro interes es llegar a la parte operacional como tal”

En cuanto al conocimiento contextual es determinante y se ve limitado a las necesidades industriales y laborales específicas como la mecanización de procedimientos. Selecciona sus contenidos de acuerdo con la pertinencia en el currículo, aplicación en el laboratorio y las limitaciones de tiempo adaptando la profundidad del concepto a la misionalidad del programa.

7.1.3 Análisis del docente de Educación Universitaria en ramas de la química

Ilustración 9. Red semántica docente educación Universitaria



Nota: Elaboración propia.

El docente universitario en el dominio psicopedagógico, las estrategias didácticas (E24) están fuertemente vinculadas a las dificultades y concepciones previas (E13). El docente universitario reconoce que la TOM es por naturaleza difícil y orienta sus estrategias específicamente para facilitar la comprensión de las representaciones y modelos de la TOM.

En el dominio disciplinar el nodo central es enlaces moleculares y energía (E22). La fundamentación cuántica es el cimiento que sustenta tanto la distribución electrónica como los debates y transiciones teóricas, la teoría cuántica es una herramienta explicativa constante, no un tema aislado.

En la dimensión Histórico-epistemológica, el origen y evolución, y los debates teóricos sustentan la fundamentación cuántica. En este perfil, el docente concibe la historia de la ciencia como una evidencia indispensable para validar la vigencia del modelo actual. bajo esta premisa, el uso de contextos se orienta hacia entornos científicos relevantes y hacia la multidisciplinariedad; no se persigue apelar a lo cotidiano o anecdótico, se apela a elementos para la formación profesional e investigativa del estudiante.

Se percibe pensamiento crítico y de alta complejidad, caracterizado por un equilibrio dinámico entre el dominio disciplinar y el componente didáctico. El nodo conceptual de enlaces y energía se articula estrechamente con la dimensión histórico-epistemológica, permitiendo que el origen, la evolución y los debates teóricos de la disciplina sirvan de sustento permanente para la fundamentación cuántica. La trayectoria identificada incorpora de forma explícita las limitaciones y los alcances de la TOM, lo que demuestra que el docente se distancia de presentar el conocimiento como una verdad absoluta o acabada. Por el contrario, lo asume como un modelo de constante evolución, orientado a sus estrategias pedagógicas de manera específica hacia la facilitación de representaciones y modelos de un alto nivel de abstracción.

Ilustración 10. Mapa declarativo del CDC docente de educación universitaria*



Nota. Elaboración propia.

*El docente posee un dominio del concepto Teoría del Orbital Molecular (TOM), entendida como el modelo que explica la formación del enlace químico a partir del solapamiento de orbitales, la existencia de orbitales enlazantes y antienlazantes, la relación

entre energía, tamaño y forma de los orbitales, por lo que su conocimiento disciplinar sustantivo es fuerte; maneja los modelos teóricos, matemáticos, energéticos y de mecanismos, los cuales están determinados por el movimiento del electrón y su interacción con el núcleo en regiones del espacio, articulando conceptos como distribución electrónica, campos magnéticos, energía, interacciones nucleófilo y electrófilo y mecanismos de reacción en química orgánica, posicionando esta teoría como la base para comprender fenómenos más complejos en la estructura de la materia como hibridación, formación de complejos, oxidación-reducción, entre otros.

“Hay algo que propone esta teoría y son los antienlaces...esos movimientos del electrón y las interacciones es lo que da origen a esta teoría del orbital molecular”

Esto explica no solo la estabilidad de las moléculas, también, porque ocurren las reacciones químicas, por lo que no es necesario una explicación memorística si no más bien descriptiva o mecanística. A nivel sintáctico los criterios son los de proponer mecanismos coherentes que permitan explicar la coherencia energética y predicción de reactividad, más que una descripción de un fenómeno.

“cuando ellos explican el mecanismo, eso me demuestra que si están entendiendo”

Dentro de las dificultades de los estudiantes, estas radican en la falta de imaginación y visión espacial de la materia no observable, por lo que emplea estrategias de construcción progresiva y gracias al conocimiento psicopedagógico, incorpora recursos y estrategias de progresión lineal, que le permita al estudiante abandonar el aprendizaje memorístico y recurra a la explicación argumentada sobre los mecanismos de reacción, en muchos de los casos no es un concepto abordado en la educación secundaria, pero a pesar de la carga disciplinar el docente comprende las dificultades cognitivas de sus estudiantes y aplica estrategias que mejoren el aprendizaje de este tema abstracto.

“prefiero detenerme, explicar de otra forma, buscar otra estrategia para que entiendan”

Presenta una tensión epistemológica, reconoce cómo la TOM surge para dar respuesta a fenómenos que otras teorías no explican, pero a su vez estas otras teorías son útiles, no hay una “mejor” en términos absolutos si no que, son funcionales según el fenómeno a explicar, sin embargo no posee conocimiento sobre la construcción histórica ni los autores que dieron origen a esta teoría, por lo que el conocimiento histórico-epistemológico tiende a ser ausente, el docente se centra en los contenidos y el formalismo técnico modelizador, por lo que solo le interesa el estado actual del conocimiento y el por qué el comportamiento de la materia, haciendo énfasis en el estado actual del conocimiento y no en su evolución.

“a mi me enseñaron como: la teoría consiste en esto y esto, jamás me abordaron la historia”

Las condiciones institucionales influyen poco en sus decisiones didácticas, dentro de su práctica docente el conocimiento contextual indica una estandarización del entorno universitario, lo cual refuerza su enfoque teórico-modelizador y el uso de representaciones visuales y diagramáticas como recursos centrales para la comprensión del concepto TOM. Reconoce las limitaciones del contexto como la usencia de laboratorios directos para demostrar la teoría, por lo que la que la utiliza como un modelo meramente teórico donde su validez es fundamentada por su coherencia explicativa y predictiva más que por su verificación experimental.

7.1.4 Análisis comparativo de los hallazgos entre los docentes.

Como resultado general es posible afirmar que las diferencias observadas en el CDC de los tres docentes participantes constituyen la visión de una TOM situada desde un enfoque y finalidad formativa, y un nivel educativo propio y acorde a la comunidad destinada.

En el caso del docente de secundaria, este posee un marcado CDC con énfasis en el conocimiento Psicopedagógico, orientado a la adaptación de contenidos y a las características cognitivas y emocionales específicas de los estudiantes. El conocimiento conceptual es selectivo y progresivo, prioriza otros conceptos que sirvan de andamiaje para que sus estudiantes comprendan enlace químico y estabilidad molecular, sin profundizar en la TOM. Tiene en cuenta el contexto sociocultural del estudiante y el conocimiento histórico-epistemológico lo utiliza como recurso didáctico. Estas características demarcan una enseñanza centrada en el estudiante.

Por otro lado el docente Técnico laboral, denota un CDC con alto valor del conocimiento disciplinar que le permita asociarlo a su utilidad operativa e instrumental en la formación de competencias laborales. Sin embargo debe hacer uso de estrategias didácticas debido al nivel de abstracción del concepto. El conocimiento contextual es mediado por las demandas insitucionales y del sector productivo. El conocimiento histórico-epistemológico es limitado, por lo que se difiere una visión de la ciencia mas instrumental, centrada en el saber hacer mas que en modelos teoricos.

Finalmente en el docente universitario es evidente un CDC con predominio del conocimiento disciplinar sustantivo, orientado a la construcción de explicaciones teóricas coherentes sobre la energía y la predicción de la reactividad química, junto al desarrollo del razonamiento químico mecanístico. Incorpora estrategias psicopedagógicas y selección de recursos representacionales para mediar el contenido, un limitado uso del contexto por la ausencia de laboratorios o experimentos directos sobre la TOM y el desarrollo histórico que en este caso cumple una función de legitimación del conocimiento más que problematización didáctica.

Tabla 9. Distribución conceptual del CDC según el nivel educativo.

<i>Dimensión CDC</i>	<i>Educación</i>		
	<i>Secundaria</i>	<i>Técnico laboral</i>	<i>Universitaria – Ramas química</i>
Conocimiento disciplinar	32,09%	52,08%	50,83%
Conocimiento histórico epistemológico	14,18%	16,42%	11,01%
Conocimiento psicopedagógico	33,59%	17,11%	34,44
Conocimiento del contexto escolar	20,15%	14,38%	3,4%

Nota. Elaboración propia.

Según los resultados del análisis el conocimiento predominante entre los tres docentes es el disciplinar, seguido muy cerca por el conocimiento psicopedagógico, luego el conocimiento histórico-epistemológico y finalmente el conocimiento contextual con el menor porcentaje.

El análisis de los mapas declarativos del Conocimiento Didáctico del Contenido de los docentes participantes, identificó además, las limitaciones diferenciadas pero complementarias en la enseñanza de la Teoría del Orbital Molecular (TOM) las cuales no se encuentran asociadas a la ausencia de conocimiento disciplinar, sino a tensiones en la transposición didáctica de un modelo altamente abstracto hacia contextos de enseñanza significativa. A su vez, de manera transversal, las dificultades de comprensión que enfrentan los estudiantes al relacionar la TOM con fenómenos químicos concretos, lo que conduce en ocasiones a aprendizaje fragmentado, centrado en la memorización de esquemas formales sin una comprensión profunda.

Este estudio demuestra que el CDC no es estático, varía de acuerdo del nivel educativo, objetivos formativos y la naturaleza del contenido. En este sentido, cada docente prioriza los componentes que den lugar a el perfil diferenciado. También refleja una lucha interna entre

explicación, aplicación y mediación pedagógica que confirma que el CDC es un conocimiento complejo, dinámico y relacional que depende de la interacción entre el saber disciplinar, las prácticas pedagógicas y las condiciones contextuales e invitan a conocer mejor las decisiones didácticas que acerquen al docente a una mejor práctica.

7.2 Fase de revisión y construcción de escenarios de contextualización

A partir del análisis declarativo del CDC de cada docente participante se identificó que la Teoría del Orbital Molecular es un modelo central para la enseñanza de enlace químico y reactividad molecular, sin embargo presenta dificultades ligadas al alto nivel de abstracción y falta de contextualización del contenido. En esta segunda fase del proyecto se trata de dar respuesta a este panorama, incluye la revisión de estudios científicos que además de destacar la relevancia de TOM, ofrecen escenarios de enseñanza contextualizada. Esta revisión se hizo de forma intencional y orientada en identificar experiencias, enfoques y propuestas que cumplan con criterios establecidos que sirvan de puente para que el contenido disciplinar sea reorganizado, resignificado y contextualizado para su enseñanza.

7.2.1 Alternativas de contextualización

7.2.1.1 Mapeo de Contextos

En la enseñanza de las ciencias, la contextualización del contenido se plantea como una estrategia que permite relacionar los conceptos científicos con situaciones significativas que faciliten su comprensión y aprendizaje. En este sentido, el mapeo de contextos se propone como una alternativa metodológica que permite identificar, analizar y organizar diferentes contextos desde los cuales puede abordarse un concepto científico en el aula. Este enfoque parte del reconocimiento de que el aprendizaje de la ciencia se fortalece cuando los contenidos se vinculan con fenómenos del entorno, problemas sociales, desarrollos tecnológicos o procesos históricos asociados a la construcción del conocimientos científico.

Se llevó a cabo el análisis de dieciocho (18) contextos de los cuales se destacaron diez (10), por ser contextos potenciales relacionados con el concepto TOM, con el fin de identificar aquellos que presentaran mayor pertinencia conceptual, didáctica y contextual para su enseñanza.

Los criterios analizados fueron: *Contexto individual* (Ver anexo 4)

Para la selección y criterios analizados, se realiza una construcción conjunta a partir de la iteración con un lenguaje de inteligencia artificial (Gemini y ChatGPT), alimentado por varios documentos sustentados desde el enfoque basado en contexto, TOM, y CDC, a partir de la curaduría de las respuestas aportadas se delimitan seis categorías de relación entre los contenidos analizados, los cuales se presentan a continuación:

- *Ámbito del contexto (A)*: Este criterio permite ubicar el contexto en una esfera concreta de la realidad (Cotidiano, Ambiental, Agroindustrial/Productivo, Tecnológico/Industrial, Cultural/Social). El contexto no debe entenderse únicamente como un ejemplo ilustrativo, sino como un marco de sentido que conecta el conocimiento químico con prácticas sociales reales (Gilbert J. , 2006). Así mismo el ámbito contextual influye en la importancia percibida del contenido químico por lo que escenarios productivos, industriales o ambientales favorecen la comprensión de la química como actividad humana (Bennett, 2007).
- *Función didáctica del contexto (F)*: Este criterio se centra en la parte pedagógica y el rol que pueda contener este contexto. Los contextos pueden desempeñar varias funciones entre las que se encuentran la motivación, organización del contenido, si es Explicativo/Aplicativo o si es un entorno problematizador del conocimiento ABP. (Bennett, 2007).
- *Nivel de abstracción requerido (N)*: Aquí se evalúa la complejidad cognitiva que demanda el contexto para que pueda ser comprendido. Uno de los principales obstáculos en la educación química es el salto abrupto entre lo fenomenológico y lo altamente abstracto sin transiciones adecuadas (Gilbert J. , 2006). Por esto distinguir entre contextos de bajo, medio y alto nivel de abstracción permite analizar si este favorece o no procesos progresivos de aprendizaje.
- *Conexión conceptual (X)*: Este criterio identifica los conceptos químicos específicos presentes en cada contexto (Estructura de la materia, energía, propiedades electrónicas/magnéticas, reacciones y procesos, materiales/aplicaciones). Permitiendo evaluar

si el contexto contribuye a la comprensión del concepto y evitar contextos que no se articulen de manera clara con los núcleos conceptuales del currículo. (Bennett, 2007).

- *Recursos y mediaciones (M)*: En este punto se evalúa el material didáctico que acompaña al contexto (experimento real, simulación/TIC, analogía/modelo físico, audiovisual/texto guiado, proyecto/visita contextualizada). La identificación del tipo de recurso permite analizar el grado cognitivo y experimental que promueve cada contexto al igual que su potencial para la enseñanza de conceptos abstractos a través de representaciones (Gilbert J. , 2006).
- *Competencias que potencia (P)*: Finalmente este criterio reconoce las competencias que prioriza cada contexto. La enseñanza de las ciencias que trasciende el conocimiento conceptual e integra dimensiones científicas, técnicas/laborales, ciudadanas y especialmente cuando se trabaja desde enfoques CTSA. (Aikenhead, 1994). La visión amplia de la alfabetización científica que articula el saber conceptual con el saber hacer y el saber decidir, permitiendo analizar el alcance formativo de los contextos mas allá del contenido disciplinar. (Hodson, 1998).

Tabla 10. Mapeo de contextos.

CONTEXTOS	Ámbito del contexto (A)	Función didáctica del contexto (F)	Nivel de abstracción requerido (N)	Conexión conceptual (X)	Recursos y mediaciones (M)	Competencias que potencia (P)
<i>Effect of Roasting Level on the Development of Key Aroma-Active Compounds in Coffee. (Obando, 2024)</i> TOSTIÓN DEL CAFE	3	3	2	4	1	2
<i>On-surface design of a 2D cobalt-organic network preserving large orbital magnetic moment. (Martín-Fuentes, 2022)</i> SÍNTESIS DE MATERIALES	4	3	3	3	2	1
<i>Chemistry beyond the Hartree-Fock energy via quantum computed moments. (Jones, 2022)</i> COMPUTACIONAL	4	3	3	3	2	1
<i>Efficient Hydrogen Evolution Activity and Overall Water Splitting of Metallic Co4N Nanowires through Tunable d-Orbitals with Ultrafast Incorporation of FeOOH. (Hu, 2019)</i> ELECTRÓLISIS DEL AGUA	4	3	3	5	4	1
<i>An n→π* Interaction in Aspirin: Implications for Structure and Reactivity. (Choudhary, 2011)</i> ASPIRINA	5	3	2	4	4	1
<i>Theoretical design of D-π-A system new dyes candidate for DSSC application. (Kacimia, 2021)</i> COLORANTES ORGÁNICOS	4	3	3	5	2	1
<i>Unravelling the Photoprotective Mechanisms of Nature-Inspired Ultraviolet Filters Using Ultrafast Spectroscopy. (Abiola, 2020)</i> FILTROS UV	4	4	3	3	2	1
<i>Molecular orbital breaking in photo mediated organosilicon Schiff base ferroelectric crystals. (Gu, 2024)</i> CRISTALES FERROELÉCTRICOS	4	4	3	3	2	1
<i>First-Principles Investigations of Novel Guanidine-Based Dyes. (Hashmat, 2024)</i> COLORANTE GUANIDINA	4	3	3	5	2	1
<i>Theoretical study of chemical reactivity descriptors of some repurposed drugs for COVID-19. (Morad, 2023)</i> FÁRMACOS COVID 19	4	4	3	3	2	1

Nota. Elaboración propia.

El análisis comparativo de los distintos entornos evidencia que la Teoría del Orbital Molecular (TOM) se utiliza mayoritariamente en contextos tecnológicos e industriales para explicar propiedades electrónicas, reactividad y diseño de materiales, con un alto nivel de abstracción asociados al formalismo cuántico y matemático, y al uso de simulaciones computacionales. Estudios como redes metal-orgánicas, colorantes orgánicos, fármacos y computación cuántica, utilizan modelación avanzada y competencias científicas especializadas.

Con aras de presentar una propuesta didáctica sin pérdida de coherencia conceptual en la enseñanza del concepto TOM, se hizo necesario analizar no solo los contextos identificados de forma individual, sino también su grado de articulación entre sí. La valoración entre contextos permite determinar que tan coherente y pedagógicamente articulada es la relación del contexto dentro de la enseñanza de la TOM. Cada criterio analiza un aspecto específico de esa relación.

Los criterios analizados fueron: *Entre Contextos* (Ver anexo 4)

Al igual que en la sección anterior, las secciones aquí presentadas emergen de un proceso iterativo de análisis y curaduría teórica apoyada en herramientas de inteligencia artificial generativa.

Afinidad conceptual: Este criterio responde a la pregunta ¿ambos contextos trabajan conceptos químicos relacionados?. No se trata únicamente de pertenecer al mismo tema general, sino de compartir conceptos disciplinares específicos que permitan continuidad en la construcción del conocimiento (Gilbert J. , 2006). Una puntuación intermedia indica que existe coincidencia temática clara y conexión conceptual suficiente para evitar fragmentación, aunque no necesariamente dependencia directa entre los contenidos.

Continuidad de abstracción: Este criterio responde al apregunta ¿uno permite avanzar hacia un nivel mas complejo que el otro?. Evalua la progresión cognitiva entre niveles de complejidad conceptual. Se analiza si los contenidos permiten avanzar desde niveles descriptivos o fenomenológicos hacia niveles mas representacionales o formales (Gilbert J. &, 2009). Una valoración media indica complementariedad progresiva, un nodo puede funcionar como base para comprender otro mas complejo.

Progresión experimental: Este criterio responde a la pregunta ¿los recursos prácticos de un contexto sirven directamente para el otro?. Examina si los recursos o mediaciones didácticas guardan relación entre sí. Se valora si comparten modalidades (experimento, simulación, modelo) o si existe dependencia directa entre prácticas (Hodson, 1998). Una puntuación baja-intermedia indica coincidencia en el tipo de recurso, pero sin dependencia instrumental clara. Desde el CDC, esto sugiere potencial de articulación práctica, aunque aún no completamente integrada.

Trasferencia de competencias: Este criterio responde a la pregunta ¿las habilidades desarrolladas en un contexto ayudan en el otro?. Determina si las competencias desarrolladas en un nodo se continúan o amplian en otro. Se analizan la relación entre habilidades científicas, técnicas o ciudadanas (Aikenhead, 1994). Una valoración intermedia refleja progresión formativa: las competencias no son idénticas, pero una amplia o profundiza lo trabajado en la otra. Este aspecto fortalece la dimensión contextual del CDC, al permitir que el aprendizaje trascienda el contenido conceptual y movilice capacidades trasferibles.

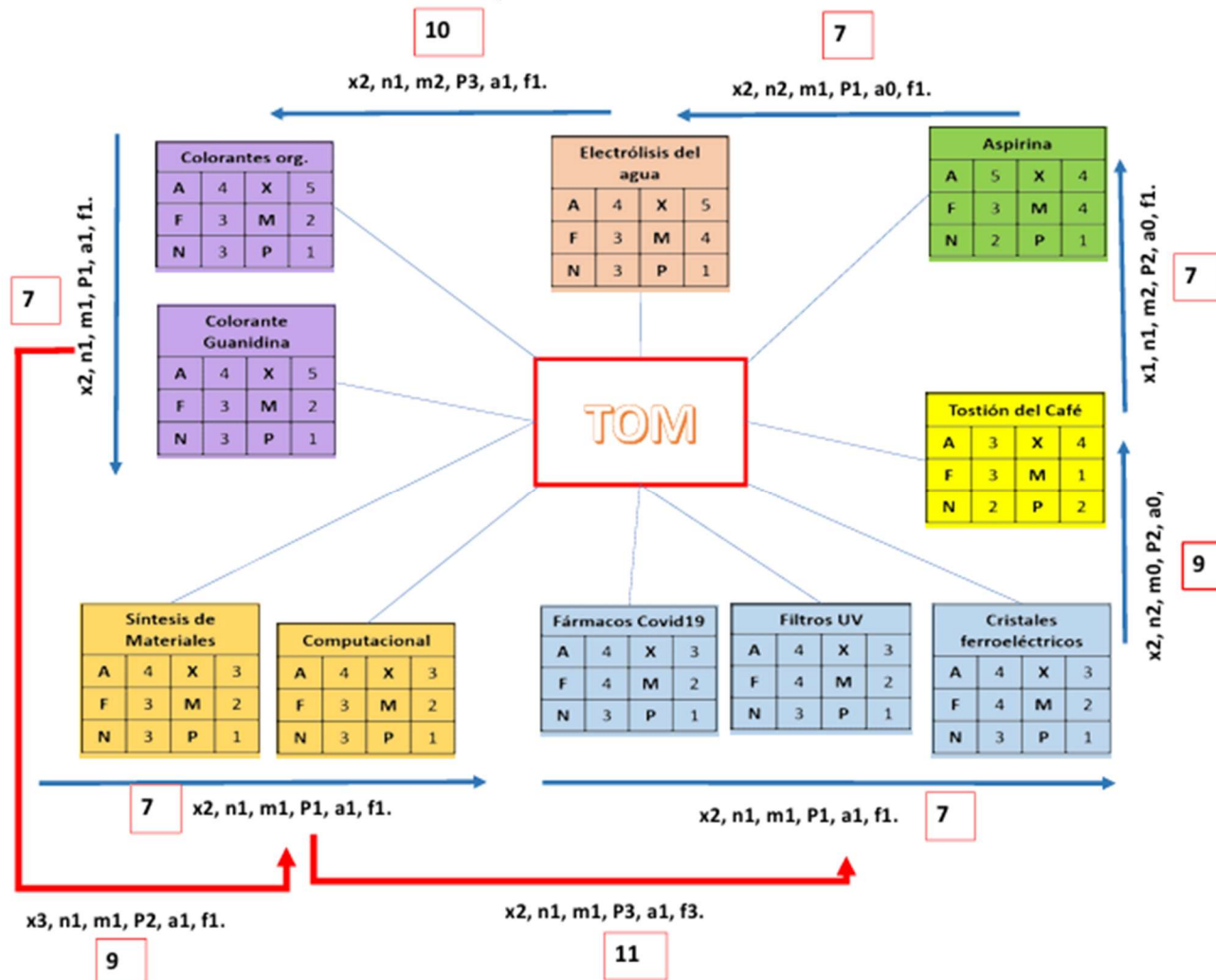
Relevancia contextual compartida: Este criterio responde a la pregunta ¿ambos pertenecen al mismo ámbito contextual?. Evalúa si los nodos pertenecen al mismo ámbito general (productivo, ambiental, social, tecnológico). Una coincidencia parcial indica coherencia macro-contextual,

aunque no identidad total (Gilbert J. , 2006). Desde la didáctica basada en contexto, esta coincidencia favorece la construcción de sentido y evita rupturas temáticas abruptas.

Continuidad didáctica: Este criterio responde a la pregunta ¿se puede diseñar una secuencia pedagógica entre ambos?. Analiza si las funciones pedagógicas pueden articularse en una secuencia estructurada (por ejemplo, motivación-problematización-explicación-aplicación) (Bennett, 2007). Una valoración media indica que existe una ruta pedagógica potencial, aunque requiere diseño explícito para consolidarse. Este criterio es clave para la integración global del CDC, ya que articula las dimensiones disciplinar, psicopedagógica y contextual en una estructura coherente.

La interpretación de los resultados según los criterios propuestos indicará el tipo de conexión entre los contextos analizados. Este análisis permite determinar qué entornos favorecen una progresión conceptual, integración efectiva entre teoría y práctica, aspectos que se debe tener en cuenta para superar las dificultades de comprensión. En este sentido, a partir de los criterios propuestos para la valoración de la articulación entre contextos, se realizó con mayor coherencia interna y potencial didáctico. A continuación, se presenta la representación gráfica del mapa de contextos (Ilustración 9).

Ilustración 11. Análisis de la articulación ente contextos para la enseñanza de la Teoría de Orbital Molecular.



Nota. Elaboración propia

Los principales hallazgos de la consulta de estos entornos en donde el TOM cuenta con potencial explicativo para la enseñanza de la química. Los resultados del análisis evidencian los contextos evaluados discriminando por colores, aquellos que tienen la misma calificación en todos los criterios, por lo que es claro evidenciar los grupos que se formaron por sus similitudes. Al evaluar los criterios propuestos para la articulación entre contextos y sumarlos, en particular el grupo naranja y el grupo azul, específicamente los contextos síntesis de materiales, química computacional, fármacos, filtros UV y cristales ferroeléctricos, alcanzaron el puntaje más alto (11), lo que indica un nivel superior de coherencia.

Este resultado explica alta afinidad entre estos contextos, ya que todos se fundamentan directamente en las propiedades electromagnéticas de la materia, el comportamiento de los orbitales y la interacción entre estados moleculares. Estos entornos además presentan un nivel de abstracción bien definido. Finalmente la transferencia de competencias es especialmente alta, las habilidades desarrolladas en estos contextos destacan la interpretación de orbitales, análisis energético y modelización moleculares, directamente aplicables, consolidando una red de aprendizajes interconectados. Todos estos factores explican por qué este grupo tiene alto grado de articulación y presenta un escenario ideal para la enseñanza de dicha teoría. (Ver anexo 5)

Si bien los contextos asociados a la síntesis de materiales, la química computacional, los fármacos, los filtros UV y los cristales ferroeléctricos presentan el mayor grado de articulación conceptual y didáctica, su nivel de abstracción y formalismo resulta elevado para contextos educativos iniciales. Sin embargo estos entornos cumplen un papel fundamental como referentes teóricos que orientan la selección de contextos más cercanos a la experiencia cotidiana del estudiante.

Por lo que se destacan contextos como la tostión del café y la acetilación de la Aspirina que permiten una conexión entre fenómenos observables y conceptos teóricos, reduciendo el salto entre lo fenomenológico y lo abstracto. En estos casos la TOM actúa como puente explicativo entre los cambios macroscópicos (color, aroma, sabor) y descriptores electrónicos (HOMO-LUMO, hibridación, redistribución electrónica) favoreciendo una progresión conceptual más gradual y el uso de recursos experimentales reales en función de una educación más accesible, con escenarios pertinentes para la enseñanza de la química en niveles de formación inicial.

7.2.1.2 Prácticas de laboratorio

En el marco de esta investigación, el caso de la tostión del café y la acetilación del ácido salicílico son contextos muy favorables para educación secundaria y educación superior en los primeros semestres, por lo que se propone el diseño de dos prácticas de laboratorio orientadas a la enseñanza de la TOM como una propuesta didáctica y aunque no corresponden a una intervención validada empíricamente, su diseño es propositivo, apoyado en estudios científicos previos, criterios didácticos establecidos y normas generales de trabajo experimental en laboratorio educativo. Su inclusión en el documento tiene como finalidad ilustrar como los principios de esta teoría pueden ser implementados en una actividad experimental y evaluada en investigaciones posteriores.

- **Tostión del café. (Ver anexo 6)**

En el contexto educativo, la tostión del café constituye un escenario altamente favorable para la enseñanza de la TOM, ya que cumple con los criterios de relevancia contextual, accesibilidad experimental y coherencia fenomenológica, además se trata de un fenómeno cotidiano,

experimentalmente reproducible en el laboratorio, que permite establecer una relación clara entre cambios macroscópicos perceptibles y explicaciones submicroscópicas basadas en orbitales moleculares.

La formación de las pirazinas durante la tostión no es solo una reacción estructural, sino una reorganización de la densidad electrónica donde los orbitales atómicos p de los átomos de Nitrógeno y Carbono se traslapan mediante la Combinación Lineal de Orbitales Atómicos (CLOA) para generar un sistema de orbitales moleculares tipo π deslocalizados.

Cuánticamente este proceso implica la formación de tres orbitales moleculares enlazantes (π_1 , π_2 , π_3) que albergan los seis electrones del sistema aromático, estabilizando el anillo al ocupar niveles de menor energía. La brecha energética entre el orbital ocupado de más alta energía (HOMO) y el orbital de menor energía (LUMO) se reduce significativamente debido a la extensión de la conjugación. Esta disminución en la brecha energética ΔE permite que el sistema absorba fotones en el espacio visible, explicando la transición electrónica responsable de la pigmentación oscura, mientras que la configuración electrónica de los orbitales no enlazantes (n) del Nitrógeno define las interacciones dipolo-dipolo que facilitan su volatilidad y percepción aromática. (Obando, 2024).

En la práctica de Tostión del café, se somete café verde seco a un proceso de calentamiento controlado, registrando masa, tiempo, rotación del grano y temperatura para obtener diferentes grados de tostión (clara, media y oscura). Durante el calentamiento se observan cambios de color, olor y pérdida de masa asociados a transformaciones químicas. Tras la tostión, los granos se enfrían, se trituran y se preparan extractos acuosos, sobre los cuales se realizan mediciones simples como el pH y color del extracto. Los resultados se comparan entre los distintos niveles de tostión para relacionar los cambios espectrales con transformaciones estructurales y electrónicas inducidas

por el calentamiento. Por ejemplo en la tostión baja, la brecha energética ΔE es alta, es posible ver la absorción en el UV o violeta y vemos colores claros (amarillo/marrón claro). Mientras que en la tostión alta, la ΔE es baja,. La absorción se desplaza hacia longitudes de onda mas largas (luz visible de menor energía, como rojo/amarillo). Al absorber selectivamente estas longitudes de onda, el resto de la luz se percibe como marrón oscuro o negro. (Solomons, 2017).

- **Aspirina** (Ver anexo 7)

Por su parte el estudio de la aspirina como sistema químico, se consolida como un contexto especialmente pertinente para el abordaje de la TOM, articula dimensiones históricas, disciplinares y didácticas. La aspirina surge de un proceso progresivo de transformación del conocimiento químico y farmacéutico, que va desde el uso empírico del extracto de corteza de sauce hasta la síntesis controlada del ácido acetilsalicílico a finales del siglo XIX. Marcando un antes y un después en la comprensión de la relación entre estructura química y efecto terapéutico.

Este desarrollo histórico permite evidenciar como la modificación estructural del ácido salicílico mediante acetilación respondió inicialmente a la búsqueda de un fármaco más estable y menos irritante, esta mejora pudo interpretarse desde la TOM como una reorganización de la distribución electrónica que estabiliza los orbitales enlazantes y modifica la reactividad en el grupo funcional. La introducción del grupo acetilo rompe la fuerte interacción de resonancia directa del par solitario del oxígeno fenólico con el anillo aromático. Esta nueva configuración estabiliza los orbitales moleculares enlazantes del sistema extendido y modifica la densidad electrónica en el anillo, reduciendo su reactividad nucleofílica y aumentando la estabilidad química del compuesto frente a la oxidación prematura. (Carey, 2007)

La aspirina presenta una alta coherencia conceptual y un fuerte potencial explicativo para vincular propiedades macroscópicas observables como punto de fusión, solubilidad y comportamiento ácido, con explicaciones submicroscópicas basadas en orbitales moleculares.

En la práctica de la aspirina se pesa una cantidad definida de ácido salicílico y se hace reaccionar con anhídrido acético en presencia de un catalizador ácido. La mezcla se calienta suavemente bajo control y temperatura para favorecer la acetilación del grupo fenólico. Posteriormente, se enfría y se adiciona agua de manera controlada para hidrolizar el exceso de reactivo, lo que induce la cristalización del ácido acetilsalicílico. El producto sólido se separa por filtración, se seca y de manera opcional, se purifica por recrystalización. Finalmente se evalúa la eficiencia de la reacción mediante el cálculo del rendimiento y se comprueba la identidad del producto a través de observaciones físicas y técnicas sencillas de caracterización.

7.2.1.3 Prototipo material manipulable. “Ábaco cuántico”

En coherencia con estos planteamientos teóricos, en este trabajo se propone el diseño de un prototipo de material didáctico llamado “Abáco Cuántico”, orientado a facilitar la comprensión de la estructura electrónica del átomo como base conceptual para el estudio de la TOM. El prototipo representado (Foto 1), se materializa en un dispositivo manipulativo tridimensional diseñado para representar estructura electrónica del átomo que simula la organización de los orbitales atómicos y sus niveles de energía mediante una analogía visual inspirada en un abáco.

Foto 1.

Primer prototipo material didáctico manipulable. Abaco cuántico.



Nota. Elaboración propia.

Los distintos orbitales se representan a través de estructuras con formas diferenciadas, permitiendo asociar geoméricamente los orbitales s , p y d , mientras que su disposición vertical expresa el número cuántico principal (n), de modo que los niveles mas bajos corresponden a estados de menor energía y mayor proximidad al núcleo. El tipo de orbital se relaciona con el número cuántico azimutal (l), y la orientación espacial de cada estructura permite introducir de manera cualitativa el número cuántico magnético (m_l). El núcleo puede complementarse con esferas de distinto color y tamaño que representan protones y neutrones, favoreciendo la distinción entre partículas subatómicas, mientras que los electrones, representados por elementos móviles de menor tamaño, en coherencia con la consideración de su masa despreciable, pueden desplazarse sobre los orbitales permitiendo además abordar el número cuántico de espín (m_s).

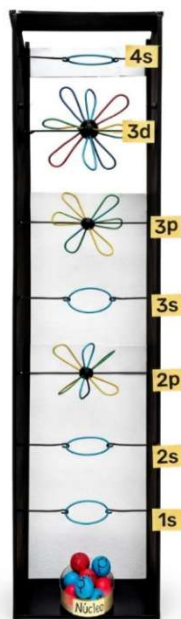
La manipulación directa del prototipo favorece la visualización espacial, reduce la carga cognitiva asociada a la abstracción y facilita la construcción de modelos mentales estables sobre la

distribución electrónica, convirtiéndose en un prototipo con gran potencial y viable para su fabricación. Sin embargo presenta limitaciones de movimiento del orbital completo y en la forma del orbital su ensamble es en 2D y no 3D, aspectos que pueden crear concepciones erradas, por lo que se siguen las recomendaciones dadas por la docente que validó el artefacto.

Se realiza un nuevo modelo mejorado del prototipo (Foto 2), que permite representar una capacidad máxima de configuración de hasta $30e^-$, correspondiente al grupo 4 de la tabla periódica, hasta el Zinc. Cada nivel horizontal simboliza un subnivel energético específico, mientras que las formas geométricas construidas con alambre representan cualitativamente la morfología de los orbitales. Además cada orbital tiene movimiento con ayuda manual para girar sobre un eje de la estructura, los e^- se colocan siguiendo el orden de llenado establecido por el principio de Aufbau y pueden moverse dentro del orbital, facilitando el concepto de probabilidad electrónica, que indica la deslocalización de los e^- , concepto fundamental de la TOM.

Foto 2.

Segundo prototipo material didáctico manipulable mejorado. Abaco cuántico.



Nota. Elaboración propia.

Por otro lado los e^- se representan mediante removibles, puestos sobre los orbitales uniendo dos mitades del mismo color, la unión de las dos representa un electrón, para visualizar de manera cualitativa la orientación del $spín$ y el carácter del $espín$, este se hace con la diferencia cromática permitiendo identificar de manera intuitiva las dos orientaciones del $spín$ por su color ((amarillas $+1/2$ ↑ (apareado) o verdes $-1/2$ ↓ (desapareado)) para determinar propiedades magnéticas de la materia.

Un aporte significativo de este prototipo en su versión mejorada es la capacidad de representar la inversión de los niveles de energía en los metales de transición. El dispositivo cuenta con un sistema de ajuste posicional que permite posicionar el orbital $4s$ físicamente por debajo del subnivel $3d$, ilustrando por qué los electrones ocupan primero el cuarto nivel en los elementos como el Potasio (K) y Calcio (Ca). Pero cuando el nivel $4s$ se deja por encima del subnivel $3d$ permite explicar por que los metales de transición pierden primero los electrones $4s$ al formar cationes, facilitando la comprensión de la reactividad química y las propiedades magnéticas.

La efectividad del Ábaco Cuántico como andamiaje cognitivo se sustenta en una guía de instrucción dirigida. El manual de usuario diseñado para esta investigación organiza las actividades en niveles de complejidad creciente, permitiendo al estudiante manipular variables cuánticas en forma físico. Esta mediación instrumental, documentada paso a paso, permite que el usuario transite de nociones intuitivas a modelos mentales consientes con la Teoría del Orbital Molecular (TOM). (Ver anexo 8)

7.2.2 Extensión Fase 2. Validación y potencial didáctico de las alternativas

La implementación de un instrumento de valoración como extensión de la fase 2 tiene como objetivo recolectar datos empíricos sobre la pertinencia y viabilidad de las mediaciones propuestas (mapeo de contextos, prácticas de laboratorio y ábaco cuántico) desde la perspectiva de los docentes participantes y surgió de la necesidad de dotar el proyecto de un rigor analítico que trascendiera la simple propuesta de materiales y sirva como filtro que asegure que cada alternativa contribuya efectivamente a la alfabetización científica.

Siguiendo una metodología cualitativa, se empleó un instrumento de recolección de datos de tipo mixto estructurado a partir de una escala tipo Likert de cinco niveles (1=Totalmente en desacuerdo, 5=Totalmente de acuerdo), complementada con preguntas abiertas. (Ver anexo 9)

Se evaluaron dimensiones críticas como el diseño y ergonomía cognitiva, transposición didáctica, rigor epistemológico, sobre la pertinencia, viabilidad y potencial didáctico, capturando la visión experta del docente que pueda llegar a tener sobre el impacto real en el aula.

Los resultados evidencian una valoración global alta (entre 4 y 5); sin embargo, la puntuación de 4 se interpreta como indicador de aspectos susceptibles de mejora, lo que aporta un carácter formativo al proceso de valoración.

El mapeo de contextos presenta una valoración positiva con énfasis en su potencial contextual, como aspecto por mejorar se debe ajustar mejor la implementación según el nivel educativo y garantizar la reproducibilidad por la comunidad educativa. Se destaca por la integración de situaciones de la vida cotidiana y por tratar problemas reales que a su vez favorece la aprehensión del concepto al dotarlo de sentido.

Las prácticas de laboratorio por su parte, aunque presentan valoraciones altas, los docentes coinciden en que faltan aspectos por mejorar como el fortalecimiento de la articulación entre fenómeno observado y la teoría, por lo que sugieren incorporar los mecanismos de reacción que permitan explicar cambios de color, olor y las transformaciones químicas desde la TOM. Dentro de las fortalezas destacadas valoran el uso de contextos (Café y Aspirina) como prácticas que reducen la abstracción y facilitan la conexión con lo cotidiano.

Finalmente, el ábaco cuántico, como la alternativa mejor valorada, tiene observaciones de mejoras clave en cuanto a la resistencia de sus materiales y la claridad en la noción de deslocalización electrónica, evitando interpretaciones erróneas como “electrones girando en órbitas” y reforzando que los orbitales representan regiones de probabilidad electrónica. Dentro de las fortalezas destacadas se encuentra que permite superar la abstracción y logra visualizar la estructura electrónica, valorando que rompe el aprendizaje memorístico de la configuración electrónica. El ábaco se posiciona como un mediador psicopedagógico altamente potente, pero requiere de ajustes conceptuales para evitar errores epistemológicos.

Los resultados permitieron evidenciar que cada alternativa impacta de forma diferenciada y de acuerdo con la intencionalidad pedagógica detrás de cada uno.

7.3. Fase de análisis de relaciones CDC/Contextualización

Finalmente en la fase de análisis de relaciones entre el Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) y la contextualización de la Teoría del Orbital Molecular (TOM) se fundamenta la necesidad de articular de manera reflexiva y planificada las dimensiones del CDC con los procesos de contextualización del contenido en la enseñanza del concepto TOM.

Este análisis se apoya en los referentes desarrollados en el marco teórico de este documento, particularmente en la idea de CDC como un conocimiento completo que articula lo disciplinar, lo pedagógico y lo contextual, donde los aportes relacionados incluyen las dificultades cognitivas en la enseñanza de modelos abstractos, la importancia de las transiciones entre niveles de representación (macroscópico, submicroscópico y simbólico) y el papel de la contextualización como estrategia para favorecer el aprendizaje significativo.

Desde la dimensión disciplinar del CDC se logró evidenciar que los contextos asociados a la síntesis de materiales, al química computacional, los fármacos, los filtros UV y los cristales ferroeléctricos presentan una alta coherencia conceptual con los fundamentos de la Teoría del Orbital Molecular para explicar propiedades electrónicas, energéticas y estructurales de los sistemas estudiados, constituyendo entornos que pueden ser didactizados para la enseñanza.

Sin embargo también se identificó una relación conflictiva entre la exigencia disciplinar y la accesibilidad didáctica, pues estos contextos requieren formalismo matemático y cuántico avanzado, lo que limita su implementación directa en contextos educativos de educación secundaria y educación universitaria, en donde los estudiantes se encuentran en procesos de construcción de modelos mentales sobre la estructura electrónica y el enlace químico.

Desde la perspectiva del CDC, este conflicto en la selección de escenarios para la enseñanza de la TOM demuestra que la elección no puede basarse únicamente en la coherencia disciplinar del contenido; requiere, además, sopesar las posibilidades de mediación pedagógica y los niveles de abstracción cognitiva que demandan al estudiante. Al respecto, el análisis histórico-epistemológico permitió evidenciar que, aunque la TOM constituye un modelo central en la química moderna, su enseñanza suele desvincularse de los problemas científicos que impulsaron su desarrollo. A lo largo de la literatura revisada, la teoría aparece con frecuencia como un cuerpo de conocimiento ya consolidado y estático, sin referencias a su evolución histórica.

Por el contrario, los escenarios seleccionados para esta propuesta didáctica (El café y la aspirina) permiten recuperar procesos históricos y tecnológicos concretos, tales como la evolución de la síntesis farmacéutica o el estudio de las transformaciones químicas ocurridas durante la tostión. Esto favorece una comprensión más situada y crítica del conocimiento científico, guardando una coherencia directa con el marco teórico del proyecto. Desde el enfoque del CDC, resulta fundamental reincorporar estos procesos de construcción científica para que los estudiantes comprendan por qué la TOM surge y cuáles son, en definitiva, sus alcances explicativos.

En la dimensión psicopedagógica, el análisis revela una convergencia entre la escasez de material didáctico disponible y diversas dificultades cognitivas recurrentes, como la visión espacial, la asimilación del carácter probabilístico de los electrones y la interpretación de representaciones simbólicas. Estas limitantes se conjugan para configurar obstáculos cognitivos y didácticos que inciden de manera directa en la comprensión del contenido. Por su parte, la valoración de la dimensión contextual ayudó a identificar que los entornos con mayor puntaje presentan una estrecha vinculación teórica con la TOM, lo que los convierte en marcos conceptuales sólidos.

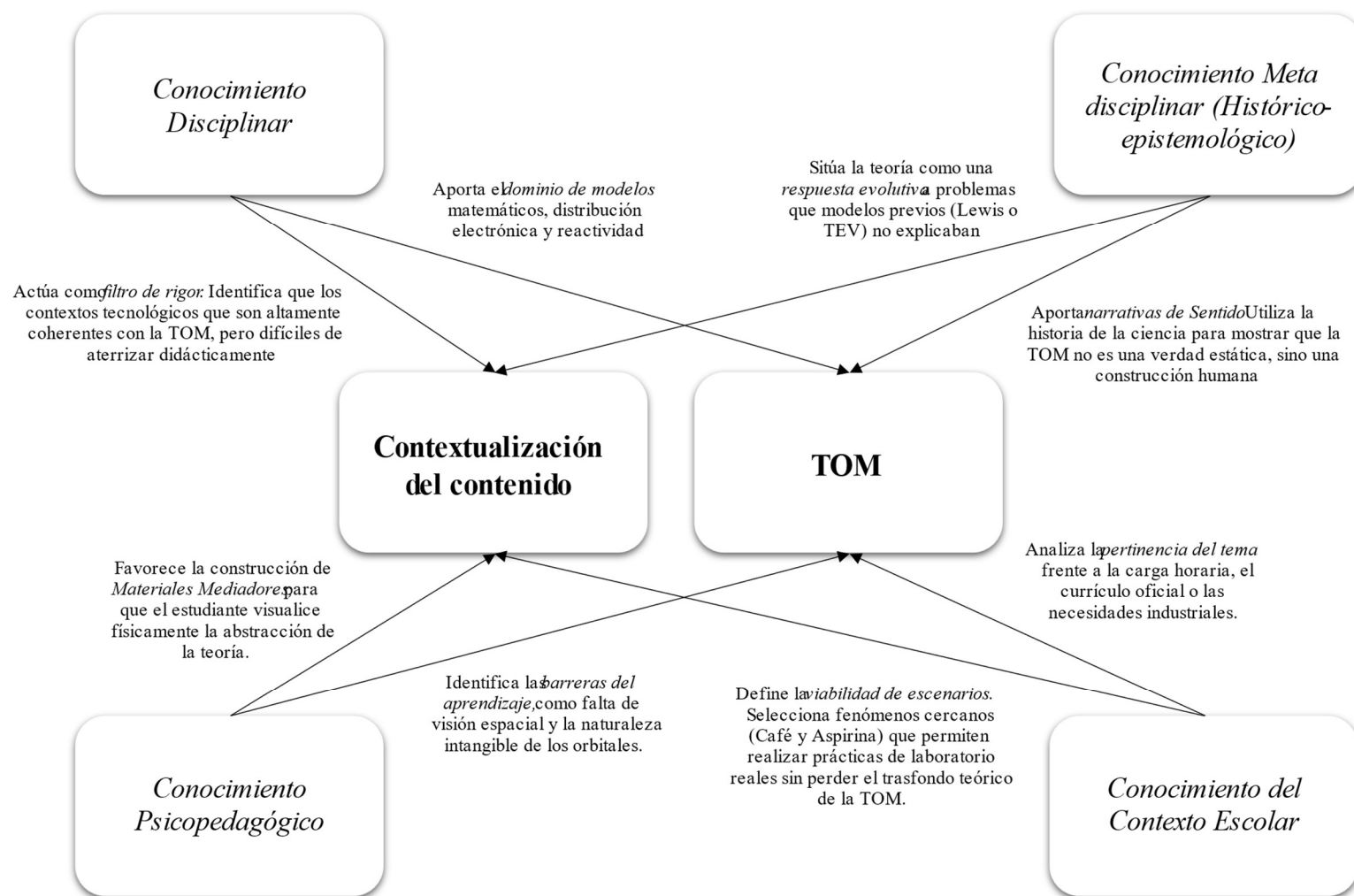
Los datos demostraron que los contextos cotidianos como el café y la aspirina operan como nodos estratégicos de mediación, estos permiten conectar los fundamentos electrónicos de la TOM con fenómenos cercanos a la experiencia del estudiante y con prácticas de laboratorio viables. Esta doble función, conceptual y contextual, es la que hace posible sostener el equilibrio entre el rigor disciplinar y la pertinencia educativa propuesta en esta investigación, la función mediadora del CDC actúa como el punete que articula la abstracción propia del modelo molecular con la experimentación real en el aula, sin que esto implique sacrificar la rigurosidad científica.

Esta convergencia justifica plenamente la incorporación del material didáctico manipulativo diseñado para este estudio, el cual funciona como un mediador cognitivo entre el nivel submicroscópico y las representaciones formales de la TOM. La manipulación física, la diferenciación visual de los niveles de energía y la representación del espín electrónico se consolidan como estrategias que favorecen la construcción progresiva de modelos mentales, reduciendo la carga cognitiva asociada a la abstracción.

El dispositivo no cumple un rol ilustrativo; funciona como soporte estructural que acompaña el tránsito desde concepciones intuitivas hacia comprensiones formales y teóricamente consistentes. El examen de las relaciones del CDC y la contextualización del contenido evidencia que la enseñanza de la TOM exige una articulación intencionada de entornos con distintos niveles de abstracción, seleccionados estratégicamente en función de su aporte específico a la comprensión progresiva del modelo y a la demostración de su alcance explicativo y predictivo.

El siguiente diagrama constituye una síntesis interpretativa de las relaciones identificadas entre el CDC, la contextualización y la TOM, se evidencia que la contextualización actúa como puente mediador que traduce la complejidad teórica de la TOM en propuestas didácticas situadas, a partir de las diferentes dimensiones del conocimiento docente.

Ilustración 12. Diagrama de relaciones: CDC/Contextualización/ TOM



Nota: Elaboración propia

8. CONCLUSIONES

- Se definió el mapa declarativo de los docentes participantes mediante el análisis relacional de sus redes semánticas. Los resultados revelan que el nivel de especialización académica reconfigura sustancialmente la estructura del pensamiento docente, reflejando un cambio en la manera de concebir la enseñanza: el maestro de educación secundaria evidencia un perfil psicopedagógico donde las estrategias didácticas funcionan como eje articulador para sobrellevar las limitaciones de tiempo e infraestructura; el docente técnico laboral transita hacia una lógica de carácter operativo-disciplinar sujeta a enlaces moleculares y energía; el docente universitario consolida un CDC de alta complejidad que fundamenta y cuestiona el modelo de la TOM a partir de su dimensión histórico-epistemológica y de la delimitación de sus alcances y restricciones teóricas.
- Se presentaron propuestas que responden las tensiones formativas identificadas en la caracterización inicial. A partir del mapeo de contextos se identificaron escenarios estratégicos, luego, basados en la experiencia fenomenológica como la tostión del café y la acetilación de la aspirina, permitieron el desarrollo de guías de laboratorio de corte sensorial, y la construcción del prototipo tridimensional Ábaco cuántico 2.0 como punto de partida estructural. Tres alternativas diseñadas para mediar la enseñanza de la TOM.
- La implementación del instrumento de valoración por parte de los docentes participantes para las alternativas de contextualización, permitió el análisis y justificación conceptual que confirman una alta pertinencia y viabilidad de las propuestas en el aula, siendo potenciales efectivos para disminuir la carga cognitiva sin sacrificar el rigor epistemológico.

- La investigación identificó una estrecha relación de codependencia entre el CDC y las estrategias de contextualización en el aula. Se concluye que el mapa declarativo del docente define la intencionalidad, el alcance sistémico y el nivel de abstracción con el que se introduce la temática cuántica; sin embargo, las herramientas situadas son las que proveen el soporte práctico indispensable para que el profesor traduzca la rigurosidad matemática abstracta en un saber explicativo, funcional u dotado de empoderamiento crítico. De manera que la contextualización permit al CDC materializar una práctica transformadora, logrando que el fenómeno macroscópico sensorial y el modelo submicroscópico molecular converjan armónicamente según las necesidades de cada escenario educativo.

En conjunto este proyecto demuestra que la contextualización del contenido no implica una simplificación de la teoría, sino una reorganización didáctica fundamentada en el CDC y sustentada en una articulación intencionada de contextos que puede ser replicada. A su vez, sienta bases para futuras investigaciones por lo que se recomienda la implementación piloto del material didáctico en el aula, así como de su evaluación en el aprendizaje de los estudiantes, de igual forma, la validación empírica de las prácticas de laboratorio propuestas y la ampliación de la propuesta hacia otros contextos químicos, en donde se pueda profundizar el CDC en relación con la TOM, explorando cómo los docentes seleccionan, articulan y contextualizan este contenido, contribuyendo así al fortalecimiento de la didáctica de la química cuántica en contextos educativos diversos.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Abiola, T. W. (2020). Unravelling the Photoprotective Mechanisms of Nature-Inspired Ultraviolet Filters Using Ultrafast Spectroscopy. *Molecules*, 25(17), 3945. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/molecules25173945>
- Aikenhead, G. S. (1994). What is STS Science Teaching? *College of Education*, 47-59.
- Ariza, M. (2009). El conocimiento didáctico del contenido en la enseñanza de la combustión. Bogotá, Colombia.
- Atkins, P. &. (2005). *Principios de química. Los caminos del descubrimiento*. (3ª ed.). USA: W.H. Freeman and Company.
- Atkins, P. &. (2008). *Atkins Química Física* (8ª ed.). Médica Panamericana.
- Bennett, J. L. (2007). Bringing science to life: A synthesis of the research evidence on the effects of context-based and STS approaches to science teaching. *Science Education*, 91(3), 347-370.
- Caamaño, A. (2011). el concepto del contexto. *Revista educación*, 354, 25-47.
- Carrasco Díaz, S. (2009). *Metodología de la investigación científica: Pautas metodológicas para diseñar y elaborar el proyecto de investigación*. San Marcos .
- ChatGPT, (2026). Respuesta generada sobre una práctica de laboratorio sobre tostión de café y teoría del orbital molecular [modelo de lenguaje de gran escala]. OpenIA.
- ChatGPT, (2026). Respuesta generada sobre una práctica de laboratorio sobre la acetilación del ácido salicílico y teoría del orbital molecular [modelo de lenguaje de gran escala]. OpenIA
- Choudhary, A. K. (2011). An $n \rightarrow \pi^*$ Interaction in Aspirin: Implications for Structure and. *J Org Chem*, 76(19), 7933–7937. <https://doi.org/doi:10.1021/jo201389d>.
- Cruz et al. (2003). *Aprendizaje activo de la física y la química*. Madrid España: Equipo Sirius, S. A.
- Dewey, J. (2004). Democracia y educación . *Ediciones Morata* .
- Euguren, L. &. (2021). Dificultades conceptuales en la enseñanza de la hibridación en el átomo de carbono. *Educación en la química*, 27(1), 10-21.
- Fleming, I. (1976). *Spectroscopy and molecular orbitals* . McGraw-Hill.
- Flick, U. (2015). Introducción a la investigación cualitativa . *Morata.*, (5.ª ed.). .
- Fullan, M. (2007). The new meaning of educational change (4th ed). 23-129.

- Gil Pérez, D. &. (1985). Science learning as a conceptual and methodological change. *European Journal of Science Education*, 7(3), 231-236. <https://doi.org/DOI:10.1080/0140528850070302>
- Gil, P. &. (1990). What to do about science misconceptions. *Science Education*, 531-540.
- Gilbert, J. &. (2009). *Introducción: Representaciones micro, submicro y simbólicas y su relación. Modelos clave en la educación química*. (Vol. 4). Springer.
- Gilbert, J. (2006). On the nature of ‘context’ in chemical education. *International Journal of Science Education*, 28(9), 957-976.
- Gil-Rios, J. (2023). Relaciones entre el conocimiento didático del contenido y la inclusión en la enseñanza de las ciencias. Bogotá, Colombia.
- Gómez, C. &. (2006). *Enfoques para la enseñanza de las ciencias: de la institución a la construcción del conocimiento*. Madrid: Morata.
- Gu, Z. Z. (2024). Molecular orbital breaking in photo-mediated organosilicon Schiff base ferroelectric crystals. *15*, 4416. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41467-024-48405-y>
- Gummeson, E. (2000). Métodos cualitativos en investigación gerencial. *Publicaciones Sage, Newbury Park, California*.
- Hashmat, U. R. (2024). First-Principles Investigations of Novel Guanidine-Based Dyes. *ACS Omega*, 9(12), 13917–13927. <https://doi.org/http://pubs.acs.org/journal/acsodf>
- Heitler, W. &. (1927). Interacción de átomos neutros y enlace homopolar según la mecánica cuántica. *Zeitschrift für physik*, 44, 455-472.
- Hernández-Samperi, R. &. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. México: McGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C. V.
- Hernandez-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. (2018). *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw Hill.
- Hodson, D. (1998). Teaching and learning Science: Toward a personalized approach. *Open University Press*.
- Hu, Y. Y.-B. (2019). Efficient Hydrogen Evolution Activity and Overall Water Splitting of Metallic Co4N Nanowires through Tunable d-Orbitals with Ultrafast Incorporation of FeOOH. *ACS*

- Applied Materials & Interfaces*, 11(5), 5152-5158. <https://doi.org/DOI:10.1021/acsami.8b20717>
- Hund, F. (1927). Sobre la interpretación de los espectros moleculares. *Zeitschrift für physik*, 40, 742-764.
- Irazoque, G. (2015). El conocimiento didáctico del contenido del equilibrio químico en profesores de química. Bogotá, Colombia.
- Jones, M. A. (2022). Chemistry beyond the Hartree–Fock energy via quantum computed moments. *Scientific Reports*, 12, 8985. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41598-022-12324-z>
- Justi, R. &. (2000). History and philosophy of science through models: the case of chemical kinetics. *Science & Education*, 9(3), 247–267.
- Kacimia, R. R. (2021). Theoretical design of D- π -A system new dyes candidate for DSSC application. *Heliyon*, 7(6), e07171. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07171>
- Kind, V. (2009). Pedagogical content knowledge in science education: Perspectives and potential for progress. *Studies in Science Education*, 45(2), 169-204.
- Kuhn, T. (1962). *La estructura de las revoluciones científicas*.
- Locke, J. (2004). Ensayo sobre el entendimiento humano. *Alianza Editorial*.
- López, J. &. (2015). *El conocimiento didáctico del contenido (CDC) en química*. (D. L. Lozano, Ed.) Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- López-Cortéz, E. R. (2016). Mapa del conocimiento didáctico y modelo didáctico en profesionales del area biológica sobre el contenido de la célula. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las ciencias.*, 13(3), 725-742.
- Manrique, L. &. (2023). Caracterización del conocimiento didáctico del contenido en la enseñanza de los carbohidratos. Bogotá, Colombia.
- Martín-Fuentes, C. P.-G. (2022). On-Surface Design of a 2D Cobalt-Organic Network Preserving Large Orbital Magnetic Moment. *Journal of the American Chemical Society*, 44(35), 16034-16041. <https://doi.org/DOI:10.1021/jacs.2c05894>
- Mercader, M. J. (2018). Las prácticas de enseñanza de las nociones geométricas: de la geometría en la escuela secundaria a la geoetría molecular en la universidad. *Memoria académica*.

- Montoya, J. C. (2022). Mirada a los aspectos económicos, financieros, sociales y ambientales del cultivo del café en Colombia - 2022. *Working papers ecacen / unad*.
- Mora & Parga, D. (2008). El conocimiento didáctico del contenido en química: integración de las tramas de contenido histórico–epistemológicas con las tramas de contexto–aprendizaje. *Tecné, Episteme y Didaxis*.
- Mora, W. &. (2015). *Componentes del conocimiento didáctico del contenido (CDC) en química*. (D. L. Lozano, Ed.) Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Morad, R. A. (2023). Theoretical study of chemical reactivity descriptors of some repurposed drugs for COVID-19. *MRS Advances*, 8, 656-660. <https://doi.org/https://doi.org/10.1557/s43580-023-00590-6>
- Moreno, D. (2020). El conocimiento didáctico del contenido del laboratorio químico en la formación de profesores de química. Bogotá, Colombia.
- Moreno, W. &. (2014). Caracterización del conocimiento didáctico del contenido curricular de un licenciado en química y de un químico. *Tecné, episteme y Didaxis: TED*(Número extraordinario), 663-671.
- Morgan Wharton, J. C. (16 de Abril de 2024). Buenas noticias para los bebedores de café: los beneficios para la salud superan los riesgos para la mayoría de las personas. *Fondo para detener el cancer*.
- Mortimer, E. F. (2003). *Química para o ensino médio: Fundamentos, pressupostos o e fazer cotidiano*. UFMG.
- Mulliken, R. (1966). Espectroscopia, orbitales moleculares y enlace químico. *Premios Nobel Química 1966*.
- Mulliken, R. S. (1932). Estructuras electrónicas de las moléculas poliatómicas y valencia. II. Consideraciones generales. *Physical review*, 41(1), 49-71.
- Nilsson, P. (2014). When teaching makes a difference: Developing science teachers' pedagogical content knowledge through professional development. *International Journal of Science Education*, 36(11), 1794-1814.
- Obando, A. F. (2024). Effect of Roasting Level on the Development of Key aroma-active compounds in Coffee. *Molecules*, 29(19), 4723. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/molecules29194723>

- Parga, D. &. (2005). De las investigaciones en preconcepciones sobre mol y cantidad de sustancia,hacia el diseño curricular en química. *Educación y Pedagogía*, 17(43), 165-175.
- Parga, D. L. (2008). Conocimiento didáctico del contenido del enlace químico. *Tecné, Episteme y Didaxis (TED)*, 23, 63-82.
- Parga, D. L. (2008). El conocimiento didáctico del contenido del enlace químico. *Tecné, Episteme y Didaxis (TED)*, 23, 63-82.
- Parga, D. L. (2018). La enseñanza de coceptos químicos: tensiones entre formalismo, contextualización y sentido del contenido. *Tecné, Episteme y Didaxis (TED)*, 43, 85-101.
- Parga, D. L. (2019). Conocimiento didáctico del contenido y educación ambiental en la enseñanza de la química. *Educación en ciencias*, 23(2), 45-62.
- Parga-Lozano, D. L.-C. (2018). Enseñanza de la química desde contenidos contextualizados. *Educación química*, 29(1), 55-64.
- Pauli, W. (1925). Sobre la relación entre el cierre de los grupos electrónicos en el átomo y la estructura compleja de los espectros. *Zeitschrift fur Physik*, 31, 765-783.
- Pauling, L. (1931). La naturaleza del enlace químico. I. La determinación de la fase relativa de las funciones propias y su aplicación a la estructura de las moléculas. *Journal of the American Chemical Society*, 53(4), 1367-1400.
- Pieczonka, E. A.-K. (2025). El retrato molecular de alta resolución del café: una puerta de entrada a conocimientos sobre su química de tostado y perfiles de autenticidad completos. *Química de los alimentos*.
- Popper, K. (1962). *La lógica de la investigación científica*. Barcelona .
- Putter-Smits, L. T. (2013). Mapping context-based learning environments: The construccction of an instrument. *Lerning Environ*, 16, 347-462.
- Rodríguez, L. (2017). Relaciones entre el conocimiento didáctico del contenido y las cuestiones sociocientíficas en la enseñanza de la química. Bogotá, Colombia.
- Schrödinger, E. (1926). La cuantificación como problema de valores propios. (Primera comunicación). *Annalen der physik*, 79(4), 361-376.
- Shulman, L. S. (1986). Aquellos que entienden: Crecimiento del conocimiento en la enseñanza. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14.

- Shulman, L. S. (1987). 150 maneras diferentes de conocer: Representaciones del conocimiento en la enseñanza. En *Explorando el pensamiento docente*. (págs. 104-124).
- Shulman, L. S. (1992). Hacia una pedagogía de casos. En *Metodos de casos en la formación docente*. (págs. 1-30). Teachers College Press.
- Sommerfeld, A. (1916). Sobre la teoría cuántica de las líneas espectrales. *Annalen der physik*, 356, 1-94.
- Soto Mardones, G. F. (2016). Mapa del conocimiento didactico y modelo didáctico del contenido en profesionales del área biológica sobre el contenido de célula. *Eureka sobre enseñanza y divulgación de ciencias.*, 13(3), 725-742.
- Taber, K. S. (2001). Building the Structural Concepts of Chemistry: Some Considerations from Educational Research. *Chemistry Education Research and Practice*, 2(2), 123-158. <https://doi.org/DOI: 10.1039/B1RP90014E>
- Taber, K. S. (2002). Chemical Misconceptions: Prevention, diagnosis and cure. *Royal Society of Chemistry*, 1, 53-66. Obtenido de <https://sc4ience-education-research.com/publications/books/chemical-misconceptions-prevention-diagnosis-and-cure-theoretical-background/>
- Talanquer, V. (2011). Learning chemistry: The journey or the destination? *Chemistry Education Research and Practice*, 12(2), 244–248.
- Vera, C. (2009). Cómo escribir artículos de revisión . *Revista Médica la Paz* .
- Verdugo, J. S. (2017). El conocimiento didáctico del contenido en ciencias: estado de la cuestión . *Cuadernos de pesquisa* .

ANEXOS

Anexo 1. Entrevista semiestructurada



Nombre: _____

Título: _____

Institución educativa en la que labora: _____

Asignatura: _____

Grados a cargo: _____

Instrumento 1. Entrevista semiestructurada

Facultad de Ciencia y Tecnología. Departamento de Química.

Grupo de Investigación Alternancias.

Esta entrevista es flexible pero focalizada, tiene como propósito profundizar en las respuestas presentadas en el instrumento 1 sobre las Representaciones del Contenido (ReCo) y las decisiones pedagógicas de los maestros (Parga, 2014) a la hora de enseñar Teoría del Orbital Molecular (TOM) con el fin de caracterizar su Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC).

Preguntas orientadas:

1. ¿De qué manera relaciona la fundamentación cuántica con el concepto OM y TOM?
2. ¿Cuáles son los aspectos conceptuales con los que aborda la acomodación de los electrones en el átomo?
3. ¿Como relaciona enlace-energía en la TOM?
4. ¿Como explica el comportamiento de los átomos en un campo magnético?
5. ¿Cuándo busca predecir la estabilidad de alguna molécula lo hace a través de representaciones graficas como el diagrama del OM?
6. ¿Considera el hecho de que las diferentes teorías y modelos que anteceden la TOM son útiles hasta cierto punto, pero a la vez sufren de limitaciones?
7. ¿Tiene en cuenta el origen y la evolución histórica del concepto OM y TOM?
8. ¿Como relaciona el papel que jugaron los instrumentos y las evidencias históricas para la fundamentación de esta teoría?
9. ¿Enseña a sus estudiantes que los debates y transiciones teóricas son parte fundamental de la ciencia? Justifique
10. ¿Cuáles fueron en el caso de la TOM?
11. ¿Tiene en cuenta contextos científicos como el del O₂ para enseñar la TOM?
12. ¿Qué dificultades y concepciones previas ha identificado en sus estudiantes cuando enseña OM y TOM?
13. ¿Cómo influye en su aprendizaje?
14. ¿Considera que al enseñar la TOM Y OM lo hace de manera jerárquica, de lo simple a lo complejo?
15. ¿Qué estrategias o recursos emplea para abordar el OM y la TOM?
16. ¿Trata usted de idear experiencias propias sobre OM y TOM, entiéndase como material de apoyo, presentaciones, videos, material manipulable, etc, para sus estudiantes y mejorar la comprensión?

17. ¿Emplea usted una secuenciación didáctica de contenidos?
18. ¿Como evalúa el nivel de comprensión de sus estudiantes en torno al OM y TOM?
19. ¿Qué emociones o sensaciones considera tienen los estudiantes al abordar OM y TOM?
20. ¿Considera que cambiarían esas sensaciones o emociones si el contenido se abordara de manera contextualizada? Si/No ¿Por qué?
21. ¿Como adapta la enseñanza del OM y TOM según los recursos disponibles en su institución?
22. ¿Cuál es el nivel de articulación con el currículo oficial? Alto, medio, bajo.
23. ¿Qué aspectos tiene en cuenta?
24. Considera sencillo contextualizar este contenido Si/No ¿Por qué?
25. ¿Qué ejemplos, aplicaciones, modelos físicos, simulaciones y contextos integra en su ejercicio de enseñanza para abordar el concepto de OM y TOM?
26. ¿Cuáles son los ejemplos o entornos más utilizados para enseñar este contenido?
27. ¿Relaciona la explicación del OM y la TOM con otras asignaturas o áreas del conocimiento?

Anexo 2. Cuestionario ReCo



Nombre: _____
Título: _____
Institución educativa en la que labora: _____
Asignatura: _____
Grados a cargo: _____

Instrumento 2. Reconocimiento de las Representaciones del contenido (ReCo).
Facultad de Ciencia y Tecnología Departamento de Química.
Grupo de Investigación Alternancias.

El instrumento ReCo (Representaciones del Contenido) adaptado por Mora y Parga (2008) es un cuestionario de nueve (9) preguntas que permiten analizar e identificar las representaciones del contenido TOM que hacen los docentes de química participantes, con el fin de caracterizar su CDC (Conocimiento Didáctico del Contenido). Responda según corresponda.

	Formación de un OM y cómo se habla del valor y orientación de los e ⁻ , también de la forma y energía en los orbitales.	La estabilidad electrónica que describe la fuerza y viabilidad del enlace en una molécula.	Diagrama del OM y la distribución electrónica en las moléculas.	Relación entre el comportamiento de las moléculas en un campo y su naturaleza magnéticos.
¿Qué intenta que aprendan sus estudiantes sobre el concepto TOM?				
¿Por qué es importante que los estudiantes aprendan el concepto TOM?				
¿Qué cree que le faltaría saber a los estudiantes sobre el concepto TOM?				
¿Qué preconcepciones o ideas alternativas (errores conceptuales) tienen los estudiantes sobre el concepto TOM? ¿Cómo influyen en la enseñanza?				
¿Cuáles son las dificultades y limitaciones asociadas con la enseñanza del concepto de TOM?				
Otros factores que influyen en la enseñanza del concepto TOM. Por ejemplo, a nivel de normas y funcionamiento de la institución escolar, procedencia de los estudiantes, configuración cultural, política e ideológica del entorno de la institución escolar,				

del diseño curricular y del trabajo entre docentes.

¿Qué procedimientos o estrategias de enseñanza emplea para que los estudiantes se comprometan con el concepto TOM?

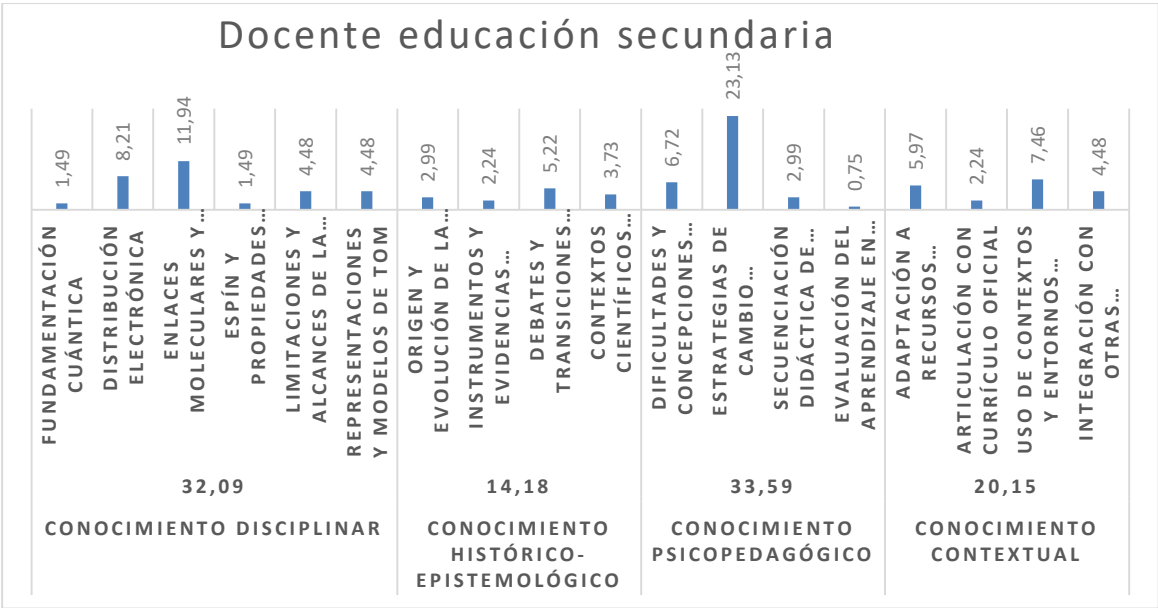
¿Qué formas de comprobar (evaluación, coevaluación y autoevaluación) el entendimiento o confusión de los estudiantes acerca del concepto TOM utiliza?

¿Qué conocimientos sobre historia y epistemología del concepto TOM conoce? Por ejemplo, mecanismos de producción del conocimiento, vida de las comunidades científicas, debates y controversias, reconstrucciones de episodios históricos relevantes, revoluciones científicas y experimentos cruciales, biografías de grandes personajes.

Anexo 3. Ejemplo: Identificación de convergencias en la enseñanza de la TOM. Caracterización del CDC.

1. Docente Educación secundaria.

DOCENTE EDUCACIÓN SECUNDARIA			
CATEGORÍA	Totales %	SUBCATEGORÍA	Totales %
CONOCIMIENTO DISCIPLINAR	32,09	Fundamentación cuántica	1,49
		Distribución electrónica	8,21
		Enlaces moleculares y energía	11,94
		Espín y propiedades Magnéticas	1,49
		Limitaciones y alcances de la TOM	4,48
		Representaciones y modelos de TOM	4,48
CONOCIMIENTO HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICO	14,18	Origen y evolución de la TOM	2,99
		Instrumentos y evidencias históricas	2,24
		Debates y transiciones teóricas	5,22
		Contextos científicos relevantes	3,73
CONOCIMIENTO PSICOPEDAGÓGICO	33,59	Dificultades y concepciones previas de estudiantes	6,72
		Estrategias de cambio conceptual	23,13
		Secuenciación didáctica de contenidos	2,99
		Evaluación del aprendizaje en TOM	0,75
CONOCIMIENTO CONTEXTUAL	20,15	Adaptación a recursos disponibles	5,97
		Articulación con currículo oficial	2,24
		Uso de contextos y entornos reales o simulados	7,46
		Integración con otras asignaturas o áreas	4,48



Anexo 4. Criterios propuestos para la valoración de contextos encontrados

Ámbito del contexto (A)

(Gilbert, 2006; Bennett et al., 2007)

Define en qué esfera de la realidad se ubica el contexto.

1 = Cotidiano

2 = Ambiental

3 = Agroindustrial / Productivo

4 = Tecnológico / Industrial

5 = Cultural / Social

Función didáctica del contexto (F)

(Bennett et al., 2007)

Indica el rol que cumple el contexto en la enseñanza.

1 = Motivador (engancha al inicio)

2 = Organizador del contenido (estructura la unidad)

3 = Explicativo / Aplicativo (ejemplifica conceptos)

4 = Problemizador (ABP, casos, dilemas)

Nivel de abstracción requerido (N)

(Gilbert, 2006)

Indica el Grado de complejidad conceptual que demanda.

1 = Bajo (fenomenológico, descriptivo)

2 = Medio (modelos visuales y representaciones)

3 = Alto (formalismo cuántico, matemático)

Conexión conceptual (X)

1=Estructura de la materia (σ/π , antienlazantes)

2=Energía/orden de enlace

3=Propiedades electrónicas/magnéticas

4=Reacciones y procesos

5=Materiales/aplicaciones

Recursos y mediaciones (M)

Indica el tipo de recurso y mediación asociado al contexto

1=Experimento real

2=Simulación/TIC

3=Analogía/modelo físico

4=Audiovisual/texto guiado

5=Proyecto/visita contextualizada

Competencias que potencia (P)

(Aikenhead, 1994; Hodson, 1998)

Determina la dimensión principal de aprendizaje que moviliza.

1 = Científicas (explicar, modelar, argumentar)

2 = Técnicas / Laborales (hacer, manipular, controlar)

3 = Ciudadanas / CTSA (decidir, valorar, responsabilidad social)

Contexto	Ámbito	Funcion	Abstraccion	Conexion	Recursos	Competencias
	A	F	N	X	M	P
Tostión del café	3	3	2	4	1	2
Síntesis de materiales	4	4	3	5	2	1

Criterios propuestos para la valoración de articulación entre contextos

Afinidad conceptual

Evalúa si comparten o encadenan un mismo contenido químico.

0 = No comparten conceptos.

1 = Comparten un tema general (energía, materiales).

2 = Comparten al menos un concepto químico específico (oxidación, orbitales, enlace).

3 = Uno funciona como prerrequisito para comprender el otro.

Continuidad de Abstracción

Evalúa si los niveles de abstracción se complementan (de lo simple a lo complejo).

0 = Sin relación.

1 = Ambos en el mismo nivel (ej. Descriptivo/descriptivo).

2 = Uno es más abstracto y puede continuar al otro.

3 = Claramente progresivos (ej. fenomenológico → representacional → cuántico).

Progresión experimental

Evalúa si los recursos o mediaciones de un nodo pueden servir como base para el otro.

0 = Ninguna relación experimental.

1 = Comparten un mismo tipo de recurso (ej. simulación).

2 = Un experimento genera datos o ejemplos útiles para el otro.

3 = Existe dependencia experimental clara (un montaje es insumo del otro).

Transferencia de competencias

Evalúa si las competencias trabajadas en un contexto se continúan o fortalecen en otro.

0 = Competencias distintas sin relación.

1 = Coinciden parcialmente (ej. ambas científicas).

2 = Una amplía o profundiza lo trabajado en el otro.

3 = Total complementariedad (ej. técnicas → científicas, o científicas → ciudadanas).

Relevancia contextual compartida

Evalúa si ambos nodos pertenecen al mismo ámbito.

0 = Ninguna coincidencia contextual.

1 = Misma categoría general (agroindustrial, ambiental).

Continuidad didáctica

Evalúa si la estrategia de enseñanza de un nodo puede articularse con la del otro.

0 = Estrategias inconexas.

1 = Coinciden en modalidad (ej. ambos motivadores).

2 = Una función didáctica puede continuar a la otra (motivador → explicativo).

3 = Existe una ruta pedagógica clara (ej. motivador → problematizador → aplicativo).

Traducir la suma en grosor/intensidad de la flecha:

- 0–2 puntos → Muy débil (línea punteada, gris, grosor 1)
- 3–5 puntos → Débil (línea delgada, negra, grosor 2)
- 6–9 puntos → Media (línea normal, azul, grosor 3)
- 10–14 puntos → Fuerte (línea gruesa, roja, grosor 4)
- 15–18 puntos → Muy fuerte (línea muy gruesa, resaltada, grosor 5)

Criterio de conexión		Puntaje	Justificación
Afinidad conceptual	x	2	Ambos trabajan con procesos químicos (oxidación síntesis).
Continuidad de abstracción	n	2	Café = nivel medio (N2) → Material = nivel alto (N3). Secuencia progresiva.
Progresión experimental	m	1	Ambos usan recursos prácticos (A = experimento real, B = simulación). Comparten tipo general de recurso.
Transferencia de competencias	P	2	Lo técnico del café puede proyectarse a lo científico, en síntesis.
Relevancia contextual compartida	a	1	Ambos tienen impacto productivo, aunque en sectores distintos.
Continuidad didáctica	f	2	Se puede diseñar la secuencia: cotidiano problematizador/aplicado.
TOTAL		10	Conexión muy fuerte.

Anexo 5. Comparativo entornos

	Resumen General	Aportes desde la TOM	Objetivo	Ámbito del contexto (A)	ción didáctica del contexto	Nivel de abstracción	Conexión conceptual (X)	Recursos y mediaciones (M)	ompetencias que potencia (P)
<i>Effect of Roasting Level on the Development of Key Aroma-Active Compounds in Coffee. TOSTIÓN DEL CAFE</i>	Durante la tostión del café ocurren reacciones de Maillard entre azúcares y aminoácidos que generan compuestos aromáticos como las pirazinas. A nivel molecular, estos compuestos se estabilizan por la delocalización electrónica en un sistema π y la relación HOMO-LUMO lo que permite explicar propiedades sensoriales como el aroma y sabor.	A medida que avanzan las reacciones térmicas se forman las pirazinas, el HOMO del aminoácido interactúa con el LUMO del carbonilo, generando intermediarios que evolucionan hacia las pirazinas, estas presentan transiciones electrónicas $\pi \rightarrow \pi^*$, estas transiciones se relacionan con la estructura electrónica del anillo, que es posible observar en un espectro UV-Vis que muestre la energía de los orbitales determinando propiedades sensoriales.	Lograr entender como el nivel del tueste puede producir más o menos pirazinas, una de las responsables del aroma y el sabor de una taza de café, desde las estructuras aromáticas heterocíclicas.	Agroindustrial/Productivo. (Producción, transformación de materia prima vegetal, control de calidad)	Explicativo/Educativo. Ejemplifica procesos químicos reales. Permite explicar conceptos de estructura molecular, reactividad y cambios en la composición.	Medio. Requiere comprender representaciones moleculares y mecanismos de reacción.	Reacciones y procesos. Es un buen contexto para introducir procesos químicos durante el tostado.	Experimento real. El contexto permite fácilmente actividades experimentales: extracción de volátiles, ensayos sensoriales, comparación de tostados, TLC o UV-Vis.	Técnicas/Laborales. Ideal para explicar química aplicada, competencias científicas, comprensión de procesos técnico-productivos.
				3	3	2	4	1	2
<i>On-surface design of a 2D cobalt-organic network preserving large orbital magnetic moment. SÍNTESIS DE MATERIALES</i>	Se diseñó una red bidimensional metal-orgánica ensamblada sobre una superficie de oro Au (111) donde los orbitales d del cobalto conservan un alto momento orbital. El estudio combina microscopía de efecto túnel y cálculos DFT + U (Teoría funcional de densidad) para relacionar la estructura electrónica a partir de la ocupación y simetría de los orbitales d, que	Cuando se combinan los orbitales d del Co con los orbitales p del O, con longitudes de onda específicas dado que algunos centros de Co tienen número de coordinación 4 y otros 6. También el ordenamiento energético de los orbitales d en el campo del ligando, finalmente el comportamiento electrónico sobre la superficie metálica.	Diseñar una red con metaestabilidad magnética logrando entender cómo se combinan el spin y el momento orbital en redes metal-orgánicas 2D ensambladas sobre metales, determinando la conductividad y	Tecnológico/Industrial. (Nanomateriales, espirotrónica, ingeniería de superficies, aplicaciones electrónicas avanzadas)	Explicativo/Aplicativo. Como contexto didáctico sobre conceptos avanzados: Teoría del campo cristalino, acoplamiento spin-orbita, anisotropía magnética, entre otros.	Alto. (formalismo cuántico). Alto nivel de abstracción, manejo cuántico y matemático de las densidades electrónicas.	Propiedades Electrónicas/Magnéticas. Se relaciona con orbitales y propiedades magnéticas	Simulación/TIC. Modelado computacional e interpretación mediante Software y mapas de densidad electrónica.	Científicas. (modelar, argumentar, explicar). Análisis de modelos teóricos, argumentación con evidencia, comprensión profunda de los orbitales y lectura de datos experimentales.
				4	3	3	3	2	1
<i>Chemistry beyond the Hartree-Fock energy via quantum computed moments. COMPUTACIONAL</i>	El método Quantum Computed Moments (QCM) utiliza computación cuántica matemática, para mejorar la descripción de energías electrónicas más allá del modelo Hartree-Fock (HF), mostrando como los orbitales moleculares emergen de funciones de onda más precisas.	Explica cómo los electrones se distribuyen en orbitales extendidos sobre toda la molécula y permite construir el Hamiltoniano electrónico molecular, describe la energía asociada al movimiento y las interacciones de los electrones en una molécula. El QCM parte de la aproximación Hartree-Fock que es un método	Mejorar la energía HF corregida con QCM logrando mediciones electrónicas con circuitos poco profundos y más precisos.	Tecnológico/Industrial. (Computación cuántica aplicada a química computacional, uso de hardware IBM, algoritmos y métodos avanzados)	Explicativo/Aplicativo. Presenta un modelo QCM y lo aplica a cadenas de hidrógeno para mostrar cómo se mejora el cálculo del estado fundamental.	Alto. (formalismo cuántico y matemático). Alto nivel de abstracción que exige dominio físico cuántico y química computacional.	Propiedades Electrónicas/Magnéticas. Trata sobre las energías electrónicas, el momento hamiltoniano y el comportamiento electrónico molecular.	Simulación/TIC. Uso de dispositivos IBM Q, simuladores, procesamiento numérico y algoritmos computacionales.	Científicas. (modelar, argumentar, explicar). Análisis crítico de datos, validación científica, argumentación basada en resultados cuantitativos.
				4	3	3	3	2	1
<i>Efficient Hydrogen Evolution Activity and Overall Water Splitting of Metallic Co4N Nanowires through Tunable d-Orbitals with Ultrafast Incorporation of FeOOH. ELECTROLISIS DEL AGUA</i>	Se desarrolló para electrólisis del agua un electrocatalizador de nitrato de cobalto Co ₄ N mediante la incorporación ultrarrápida de oxihidróxido de hierro FeOOH, donde la actividad química depende de la reorganización de orbitales d del metal. Caracterización por cálculos DFT explican como la estructura electrónica controla la transferencia de	Explica todo el fenómeno catalítico a partir de cambios en orbitales atómicos/moleculares, su energía y su ocupación; control de orbitales moleculares metálicos para su reactividad, interacción entre el metal y el adsorbato, combinación de orbitales y campo cristalino, redistribución de electrones en orbitales moleculares y estabilización/desestabilización de	Sintetizar nanocables (FeOOH-Co ₄ N) que mejore la actividad catalítica con eficiencia faradaica cercana al 100% en la producción de H ₂ y O ₂ .	Tecnológico/Industrial. Todo el contenido se enmarca en ciencia de materiales e ingeniería electroquímica, con fines industriales (producción de hidrógeno).	Explicativo/Aplicativo. Muestra cómo se aplican conceptos de química avanzada en una ecología real y con fines sostenibles en la producción de hidrógeno.	Alto. (formalismo cuántico y matemático). Manejo de cálculos DFT, análisis de densidad de estado (DOS), energías libres de adsorción, química del estado sólido y electroquímica avanzada.	Materiales/Aplicaciones. Incluye conceptos de estructura electrónica en el desarrollo de materiales para la electrólisis del agua con rendimiento catalítico y estabilidad.	Audiovisual/Texto guiado. Sin experimentos replicables para el aula, pero con bastantes gráficas, esquemas y descripciones de procedimientos que se usan como material documental guiado.	Científicas. (modelar, argumentar, explicar). Relacionar teoría del enlace con propiedades macroscópicas.
				4	3	3	5	4	1
<i>An n$\rightarrow$$\pi^*$ Interaction in Aspirin: Implications for Structure and Reactivity. ASPIRINA</i>	Es una síntesis conceptual de la aspirina que permite entender que su comportamiento químico depende directamente de su estructura molecular, cuáles son sus mecanismos de acción en la función fisiológica y efectos adversos por su carácter ácido que generan salicilato asociado a la irritación gástrica y a la inhibición de prostaglandinas protectoras del estómago.	Permite relacionar directamente cómo la reactividad y función biológica de la aspirina depende de sus orbitales. La gran estabilidad del orbital molecular enlazante π explica que el anillo no participe activamente en la reacción farmacológica principal. La distribución electrónicamente es polarizada, consiste en transferir un grupo acetilo al sitio activo de la enzima generando el efecto antiinflamatorio.	Análisis integral de la aspirina (ácido acetilsalicílico) desde diferentes perspectivas en un contexto social y cultural, con enfoque explicativo sobre la síntesis, funciones y relevancia de la aspirina.	Cultural/Social. Discute su uso social, sus beneficios, su síntesis histórica y su importancia farmacéutica.	Explicativo/Aplicativo. Explica cómo se sintetiza la aspirina, cómo actúa a nivel químico en el cuerpo y que propiedades químicas posee.	Medio. (modelos representacionales). Discute conceptos como grupos funcionales, reacciones orgánicas (esterificación del ácido salicílico), mecanismos básicos y estructura molecular.	Reacciones y procesos. Centrado en procesos y reacciones químicas.	Audiovisual/Texto guiado. Texto informativo con secciones dedicadas a datos históricos, fórmulas químicas, estructuras, clasificación y aplicaciones.	Científicas. Promueve la interpretación de estructuras orgánicas, comprensión de procesos químicos y argumentación sobre mecanismos y efectos.
				5	3	2	4	4	1
<i>Theoretical design of D-π-A system new dyes candidate for DSSC application. COLORANTES ORGÁNICOS</i>	Se diseñaron colorantes con estructura donador-puente-aceptor, donde la posición de los orbitales HOMO y LUMO determina la absorción de la luz y la eficiencia fotovoltaica. Relaciona la brecha HOMO-LUMO con propiedades ópticas.	Cuando un colorante absorbe un fotón, un electrón es promovido del HOMO (orbital molecular ocupado más alto) al LUMO (orbital molecular desocupado más bajo), esta transición de denominación transferencia de carga intramolecular donde el electrón se mueve desde	Investigación y diseño de componentes (colorantes) para una tecnología emergente (Celdas solares).	Tecnológico/Industrial. Alta aplicación y potencial impacto industrial y ambiental.	Explicativo/Aplicativo. Utiliza teoría avanzada DFT para explicar por qué ciertas modificaciones moleculares mejoran o empeoran el rendimiento y sus energías.	Alto. (formalismo cuántico). Alto nivel de abstracción para calcular y analizar los orbitales moleculares HOMO/LUMO y sus energías.	Materiales/Aplicaciones. Se basa en la estructura electrónica y el producto del estudio son los materiales D1-D6 y su aplicación en un dispositivo DSSC.	Simulación/TIC. Modelado computacional e interpretación mediante Software y mapas de densidad electrónica.	Científicas. (modelar, argumentar, explicar). Explicar el mecanismo de transferencia de carga y argumentar los mejores candidatos D5/D6.
				4	3	3	5	2	1
<i>Unravelling the Photoprotective Mechanisms of Nature-Inspired Ultraviolet Filters Using Ultrafast Spectroscopy. FILTROS UV</i>	Ciertos filtros inspirados en la naturaleza usan mecanismos de relajación no radiativa y cambios en estructura, explicables desde sus orbitales moleculares se puede transformar la energía dañina del UV en calor inofensivo.	Los filtros UV absorben radiación mediante transiciones electrónicas entre orbitales HOMO-LUMO, disipando la energía de forma segura. La TOM permite explicar fotoprotección a nivel molecular.	Explicar cómo la estructura molecular y los orbitales permiten absorber radiación UV sin degradarse tanto y relacionarlo con la protección solar.	Tecnológico/Industrial. Identificación y diseño de nuevos filtros UV para su uso en formulaciones de protectores solares.	Problemático/Investigativo. Se basa en el problema de los ecotoxicos de los filtros UV comerciales y busca alternativas en la naturaleza.	Alto. (formalismo cuántico y electrónico avanzado). Interpretación de mecanismos de relajación después de la fotoexcitación 5, utilizando espectroscopia ultrarrápida y métodos	Propiedades Electrónicas/Magnéticas. El fenómeno estudiado está directamente relacionado con la transición entre estados electrónicos y la transferencia de energía o calor.	Simulación/TIC. Modelado computacional e interpretación mediante Software y espectroscopia ultrarrápida.	Científicas. (modelar, argumentar, explicar). Análisis y explicación de cómo las moléculas protegen al ADN de la radiación UV 9.
				4	4	3	3	2	1

<i>Molecular orbital breaking in photo mediated organosilicon Schiff base ferroelectric crystals. CRISTALES FERROELÉCTRICOS</i>	El estudio demuestra que la ruptura y reorganización de orbitales moleculares inducida por luz genera cambios estructurales macroscópicos en materiales ferroeléctricos conectando orbitales con propiedades físicas emergentes. Materiales "inteligentes" (vidrios que cambian de color con luz o temperatura)	Las moléculas cambian su estructura electrónica al irradiarse lo que implica una reconfiguración de orbitales, explica cómo cambia la distribución electrónica entre isómeros.	Diseñar un material y entender que la manipulación de la simetría de los orbitales es fundamental para nuevos cristales con propiedades ópticas y eléctricas superiores.	Tecnológico/Industrial. Nuevos materiales ferroeléctricos base de tecnologías avanzadas, como sensores, almacenamiento de datos y conversión de energía.	Problemático. Introduce un nuevo concepto (Molecular Orbital Breaking) para interpretar el mecanismo de transición de fase desafiando la visión tradicional de la ruptura	Alto. (formalismo cuántico y electrónico avanzado). Fundamentada en la ruptura y reformación de enlaces covalentes.	Propiedades electromagnéticas. Ferroelectricidad y su manipulación mediante la luz. La transición entre estados electrónicos y el cambio de enlaces que afecta la propiedades del	Simulación/TIC. Modelado computacional e interpretación mediante Software y mapas de densidad electrónica.	Científicas. Modelado de la transición de fase (ruptura de orbitales) y la explicación de la ferroelectricidad y nuevos mecanismos para controlar propiedades físicas del material.
				4	4	3	3	2	1
<i>First-Principles Investigations of Novel Guanidine-Based Dyes. COLORANTE GUANIDINA</i>	Células solares orgánicas en tintes con guanidina, con partes donadoras y aceptoras, su eficiencia depende de la brecha HOMO y LUMO, que influye en la transferencia de electrones cuando la luz excita la molécula. Predicción de su aplicación en dispositivo fotovoltaico (DSSC).	Explica mediante cálculos DFT, cómo la aproximación de la mecánica cuántica modela las propiedades moleculares a través de la función de onda de los electrones. Ofrece un marco para predecir si un colorante será eficiente, debido a que los niveles HOMO y LUMO la fotoconversión de energía.	Diseñar un colorante con la energía adecuada para aceptar un electrón del electrolito, capaz de cambiar su estructura en sólidos generando cambios macroscópicos.	Tecnológico/Industrial. Alta aplicación y potencial impacto industrial y ambiental.	Explicativo/Aplicativo. Aplica química cuántica DFT para ejemplificar y predecir las propiedades y rendimientos de los nuevos compuestos.	Alto. (formalismo cuántico). Alto nivel de abstracción para calcular y analizar los orbitales moleculares HOMO/LUMO y sus energías.	Materiales/Aplicaciones. Diseño de nuevos materiales colorantes para aplicación en un dispositivo fotovoltaico DSSC	Simulación/TIC. Modelado computacional e interpretación cálculos DFT.	Científicas. Habilidad para modelar mediante DFT y explicar sus propiedades optoelectrónicas y argumentar sobre su viabilidad como fotosensibilizadores.
				4	3	3	5	2	1
<i>Theoretical study of chemical reactivity descriptors of some repurposed drugs for COVID-19. FÁRMACOS COVID 19</i>	Se analizan descriptores electrónicos de fármacos para aplicación médica (COVID-19) mediante DFT predecir estabilidad y reactividad química, argumentando su estabilidad y posible eficacia.	Fundamenta los descriptores electrónicos usados en el diseño farmacéutico, proporciona el lenguaje y las magnitudes HOMO y LUMO para cuantificar la forma en que los fármacos interactuarán con los objetivos biológicos.	Estudiar y modelar la estructura y reactividad de los fármacos para tratar el COVID-19.	Tecnológico/Industrial. Diseño y caracterización de fármacos para aplicación médica.	Explicativo/ Aplicativo. Aplica la Teoría Funcional de la Densidad DFT y la TOM para explicar y predecir la reactividad y estabilidad cinética de los fármacos.	Alto. (formalismo cuántico y matemático). Manejo de cálculos DFT, energías HOMO y LUMO, potencial químico, para interpretar resultados.	Propiedades Electrónicas/Magnéticas. Reactividad química determinada por descriptores electrónicos como la polarizabilidad y la energía de los orbitales moleculares.	Simulación/TIC. Modelado computacional e interpretación cálculos DFT.	Científicas. Reactividad, estabilidad molecular y eficacia de los fármacos que potencie un estudio para tratamiento de enfermedades.
				4	4	3	3	2	1

Anexo 6. PRÁCTICA DE LABORATORIO: TOSTIÓN DEL CAFÉ COMO ENTORNO DE APRENDIZAJE PARA ORBITALES MOLECULARES

Nivel: Educación secundaria (últimos grados) / Media técnica / Pregrado inicial

Duración estimada: 2–3 horas

Objetivos de aprendizaje

- ✓ Analizar los cambios físicos y químicos que ocurren durante la tostión del café. [1]
- ✓ Relacionar el proceso de tostión con transformaciones en enlaces químicos, hibridación del carbono y orbitales moleculares. [2]
- ✓ Interpretar evidencias experimentales (pérdida de masa, cambio de color, olor, pH del extracto) como resultado de reacciones químicas.
- ✓ Reconocer la tostión del café como un proceso industrial relevante y contextualizado socialmente. [3]

Fundamento teórico

El café verde es una matriz compleja compuesta por carbohidratos, lípidos, proteínas, ácidos orgánicos, cafeína y compuestos fenólicos. Durante la tostión (180–240 °C), ocurren múltiples reacciones químicas simultáneas, entre ellas:

- Reacciones de Maillard, entre azúcares reductores y aminoácidos.
- Caramelización de carbohidratos.
- Descomposición térmica de ácidos clorogénicos.
- Formación de sistemas conjugados y estructuras aromáticas.

Desde la perspectiva de orbitales moleculares, estos procesos implican ruptura de enlaces σ , formación de nuevos enlaces σ y π , y generación de sistemas conjugados donde los electrones π se deslocalizan. El aumento de estructuras aromáticas y conjugadas explica el oscurecimiento del grano y la aparición de nuevos aromas, debido a transiciones electrónicas más accesibles energéticamente (Atkins & de Paula, 2014; Clarke & Macrae, 2012).

Materiales y equipo

- Granos de café verde (mínimo 30 g por grupo)
- Placa calefactora o tostador eléctrico de laboratorio
- Sartén metálica o cápsula de porcelana
- Termómetro (hasta 300 °C)
- Balanza
- Cronómetro
- Mortero
- Vasos de precipitados (100 mL)
- Agua destilada
- Papel indicador de pH
- Guantes térmicos, gafas de seguridad, bata

Procedimiento experimental

Parte A: Tostión del café

1. Pesar 10.0 g de café verde y registrar la masa inicial.
2. Colocar los granos en una sartén metálica o cápsula de porcelana.
3. Calentar sobre placa calefactora entre 180 y 200 °C durante 5–7 minutos, agitando constantemente. Registrar cambios de color y olor (tostión clara).
4. Retirar una porción de granos y dejar enfriar (muestra A).
5. Continuar calentando otros 3–5 minutos hasta 210–220 °C (tostión media). Retirar otra porción (muestra B).
6. Repetir hasta 230–240 °C para tostión oscura (muestra C).
7. Dejar enfriar todas las muestras y pesar nuevamente.

Parte B: Preparación de extractos acuosos

1. Triturar cada muestra por separado en un mortero.
2. Añadir 50 mL de agua caliente a cada muestra triturada y agitar durante 5 minutos.
3. Filtrar los extractos y medir el pH de cada uno.

Resultados y observaciones esperadas

- ✓ Disminución de la masa del café con mayor tostión (liberación de gases como CO₂ y vapor de agua).
- ✓ Cambio progresivo de color: verde → marrón claro → marrón oscuro.
- ✓ Olores característicos asociados a la formación de compuestos aromáticos.
- ✓ Variación del pH del extracto acuoso (disminución de acidez con tostión más intensa).
- *Enfoque conceptual: orbitales moleculares (nivel escolar)*

El calor suministra energía para promover electrones desde orbitales enlazantes a estados excitados.

Al romperse enlaces y formarse otros nuevos, cambian las regiones donde se distribuyen los electrones (orbitales moleculares).

La formación de dobles enlaces y anillos aromáticos implica orbitales π y sistemas conjugados, donde los electrones están más deslocalizados.

Estos cambios electrónicos explican propiedades observables como el color oscuro del café tostado y la generación de compuestos aromáticos volátiles. [2]

➤ *Análisis e interpretación (guía)*

- Relacionar la pérdida de masa con la ruptura de enlaces y liberación de moléculas pequeñas.
- Explicar el oscurecimiento del café en términos de formación de sistemas conjugados y orbitales π deslocalizados.
- Discutir cómo el calor permite transiciones electrónicas y reorganización de orbitales moleculares.
- Comparar los resultados entre tostión clara, media y oscura.

➤ *Normas de seguridad*

- Usar siempre gafas, bata y guantes.
- Manipular recipientes calientes con guantes térmicos.
- No inhalar directamente los vapores producidos durante la tostión.
- No consumir el café obtenido en el laboratorio.

Las recomendaciones siguen lineamientos de seguridad para laboratorios escolares y prácticas

con calentamiento de sólidos (Pavia et al., 2008).

Referencias

- [1] Clarke, R. J., & Macrae, R. (2012). *Coffee: Chemistry*. Springer.
- [2] Atkins, P., & de Paula, J. (2014). *Physical Chemistry*. Oxford University Press.
- [3] Illy, A., & Viani, R. (2005). *Espresso Coffee: The Science of Quality*. Elsevier.
- [4] Pavia, D. L., Lampman, G. M., Kriz, G. S., & Engel, R. G. (2008). *Introduction to Organic Laboratory Techniques: A Small-Scale Approach*. Brooks/Cole.

Nota: El diseño preliminar de la práctica fue apoyado mediante inteligencia artificial generativa (OpenIA, 2026)

Anexo 7. PRÁCTICA DE LABORATORIO: SÍNTESIS DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO (ASPIRINA) A PARTIR DE ÁCIDO SALICÍLICO

Nivel: Pregrado / Secundaria (grupos de 2–4 estudiantes)

Duración estimada: 2–3 horas (incluye recrystalización y análisis básico)

Objetivos

- ✓ Sintetizar ácido acetilsalicílico a partir de ácido salicílico mediante acetilación. [1]
- ✓ Relacionar el mecanismo de la reacción con conceptos de orbitales moleculares: identificar HOMO/LUMO de reactivos y describir el solapamiento responsable de la formación del enlace éster. [2]
- ✓ Aplicar técnicas de laboratorio: manejo de reactivos corrosivos, calentamiento controlado, recrystalización y filtración.
- ✓ Caracterizar el producto mediante punto de fusión, TLC y, si está disponible, espectroscopía IR. [3]

Fundamento teórico

La reacción de acetilación del grupo fenol en el ácido salicílico con anhídrido acético es una reacción nucleófilo-electrónica clásica en la que el par solitario del oxígeno fenólico actúa como nucleófilo (HOMO) y el carbono carbonílico del anhídrido acético actúa como electrofílico (LUMO) susceptible a ataque por nucleófilos. La protonación del anhídrido o la activación por un ácido cataliza la reacción al aumentar la electrofilicidad del carbonilo y estabilizar el estado de transición, reduciendo la energía de activación. Estos conceptos y el mecanismo asociado están discutidos en textos de química orgánica y de laboratorio. [2][4]

Reactivos y cantidades (microescala, por grupo)

- Ácido salicílico ($C_7H_6O_3$): 2.00 g (~0.0145 mol).
- Anhídrido acético ($C_4H_6O_3$): 4.0 mL (exceso, actúa como reactivo y disolvente).
- Ácido fosfórico 85 % o ácido sulfúrico concentrado (H_3PO_4 o H_2SO_4): 2–3 gotas (catalizador ácido). [1]
- Agua destilada: para hidrólisis y lavado.
- Etanol absoluto o etanol 95 %: para recrystalización (si se desea mayor pureza).

Materiales y equipo

- Vaso de precipitados 25–50 mL
- Placa calefactora (hotplate) y termómetro (o baño de agua)
- Pipeta Pasteur o micropipeta para añadir catalizador
- Matraces erlenmeyer 50 mL
- Hielo y baño de enfriamiento
- Embudo Buchner y aspirador (si está disponible) o filtración por gravedad con embudo y papel filtrante
- Placas TLC, micropipetas, disolvente para TLC (hexano:acetato de etilo 7:3 o similar)
- Tubos para punto de fusión y cámara de punto de fusión
- Equipo de protección personal: gafas, guantes nitrilo, bata, campana si hay vapores

Procedimiento experimental

Nota de seguridad previa: work under a chemical fume hood if available; anhídrido acético es irritante y corrosivo. Añadir agua al anhídrido acético debe hacerse lentamente porque la reacción es exotérmica y libera ácido acético. [1][3]

1. Preparación: Pesar cuidadosamente 2.00 g de ácido salicílico y colocarlo en un vaso de precipitados limpio y seco (25–50 mL).
2. Adición del anhídrido acético: Añadir 4.0 mL de anhídrido acético al vaso que contiene el ácido salicílico. Mezclar con una varilla de vidrio hasta homogeneizar. El anhídrido sirve tanto como reactivo como solvente en esta microescala. [1]
3. Catalización: Añadir 2–3 gotas de ácido fosfórico 85 % (o, con extrema precaución, 1–2 gotas de H_2SO_4 concentrado). Mezclar suavemente. La pequeña cantidad de ácido protonará el anhídrido, aumentando la electrofilicidad del carbonilo y favoreciendo el ataque nucleofílico del oxígeno fenólico. [2][4]
4. Calentamiento: Calentar la mezcla a 60–70 °C en una placa calefactora o baño de agua durante 8–10 minutos, agitando ocasionalmente. Controlar la temperatura con un termómetro para evitar sobrecalentamiento (no superar 80 °C). Durante este periodo se promueve la acetilación; la mezcla puede volverse menos viscosa y eventualmente se observa que la mayoría del sólido se disuelve o reacciona. [1]
5. Enfriamiento e hidrólisis del exceso: Retirar del calor y dejar enfriar a temperatura ambiente durante 5 minutos, luego colocar en baño de hielo para enfriar a 0–5 °C. Añadir ~20 mL de agua fría lentamente (gotas o en chorro muy fino) para hidrolizar el anhídrido acético en exceso y protonar especies intermedias; hacerlo con agitación y cuidado (exotermia, vapores). [1]
6. Cristalización: Al enfriarse, deberían formarse cristales blanquecinos de ácido acetilsalicílico. Dejar en el baño de hielo 10–20 minutos para maximizar la cristalización.
7. Filtrado: Filtrar los cristales por succión (Buchner) o por gravedad con papel filtrante. Lavar los cristales con una pequeña cantidad de agua fría (5–10 mL) para eliminar trazas de anhídrido/ácido acético soluble.
8. Secado: Dejar secar los cristales al aire sobre papel filtro o en estufa a baja temperatura (≤ 40 °C) hasta masa constante.
9. Recristalización (opcional para mayor pureza): Disolver los cristales crudos en una cantidad mínima de etanol caliente; filtrar en caliente si hay impurezas insolubles; dejar enfriar lentamente a temperatura ambiente y luego en hielo para recristalizar. Filtrar y secar como antes. [3]

Análisis y controles de calidad

- Rendimiento: Pesar el producto seco y calcular el rendimiento en porcentaje respecto al ácido salicílico inicial.
- Punto de fusión: Medir el punto de fusión; el ácido acetilsalicílico puro funde alrededor de 135–136 °C. Un punto de fusión más bajo y amplio indica impurezas. [1]
- TLC: Realizar cromatografía en capa fina comparando el ácido salicílico original y el producto. Usar un solvente apropiado (p. ej. hexano:acetato de etilo 7:3) y un revelador (UV y/o baño de ácido si es necesario). Se espera que el producto y el reactivo tengan R_f distintos; el ácido salicílico, por su mayor polaridad (grupo OH libre), tiende a permanecer más bajo que el éster. [3]
- IR (si está disponible): Registrar espectro IR. Se debe observar la banda característica del grupo éster $\text{C}=\text{O}$ cerca de 1730–1750 cm^{-1} y una disminución o desaparición de la señal fuerte asociada al O–H fenólico (banda ancha alrededor 3200–3600 cm^{-1}). Puede observarse también la banda del ácido carboxílico si hay presencia de ácido salicílico sin reaccionar. [2][3]

Conexión con teoría de orbitales (actividad guiada)

- Proponer a los estudiantes que incluyan en su informe las siguientes secciones:

- Dibujo de orbitales frontera: Dibujar esquemáticamente el HOMO del nucleófilo (par solitario en O del ácido salicílico) y el LUMO del anhídrido acético (orbital π^* del carbonilo). Explicar cómo el solapamiento conduce a la formación del enlace C–O en el estado de transición (usar referencias de química orgánica para apoyo). [2]
- Efecto de protonación: Explicar cómo la protonación del anhídrido por el ácido catalizador reduce la energía del LUMO o lo hace más accesible, facilitando el ataque nucleofílico y estabilizando cargas parciales en el estado de transición. [4]
- Discusión experimental: Relacionar observaciones (por ejemplo, mayor rendimiento o velocidad con más catalizador o temperatura controlada) con la teoría de energía de activación y estabilidad del estado de transición.

➤ *Seguridad, manejo y disposición de residuos*

Equipo de protección personal obligatorio: gafas de seguridad, bata, guantes nitrilo.

Riesgos: Anhídrido y ácido acético son irritantes y corrosivos; pueden causar quemaduras en piel y mucosas y vapores irritantes. Ácido sulfúrico y fosfórico son corrosivos (si se usan). Manipular con precaución en campana si es posible. [1]

Primeros auxilios: En caso de contacto con piel, enjuagar con abundante agua por 15 minutos; quitar ropa contaminada. En caso de contacto con ojos, enjuagar en fuente ocular y buscar atención médica.

Residuos: Las soluciones acuosas ácidas diluidas deben neutralizarse cuidadosamente con bicarbonato de sodio hasta pH neutro antes de verter según la normativa local. Los líquidos orgánicos (si se usan) y residuos con anhídrido/ácido acético se disponen en contenedores para residuos orgánicos. Recoger sólidos contaminados en contenedor de residuos químicos.

Consultar normativa institucional. [3]

➤ *Preguntas pre-lab (para entregar antes de la sesión)*

Dibujar el mecanismo propuesto paso a paso, indicando especies cargadas y momentos en que interviene la protonación. [2]

Identificar cuál es el HOMO y cuál el LUMO en la reacción y justificar por qué el ataque sucede en el oxígeno fenólico y no, por ejemplo, en el grupo carboxílico del ácido salicílico.

Calcular la masa teórica de producto (ácido acetilsalicílico) partiendo de 2.00 g de ácido salicílico y la masa molar correspondiente.

➤ *Tareas post-lab (para el informe)*

Informe breve (máx. 4 páginas) que incluya: objetivo, balance de masas y rendimiento, datos experimentales (masa, punto de fusión, TLC), espectros (si los hay), mecanismo comentado en términos de orbitales y una discusión de errores y fuentes de impureza.

Referencias

[1] Vogel, A. I. Vogel's Textbook of Practical Organic Chemistry, 5th ed.; Longman: Londres, 1996.

[2] Clayden, J.; Greeves, N.; Warren, S.; Wothers, P. Organic Chemistry; Oxford University Press, 2012.

[3] Pavia, D. L.; Lampman, G. M.; Kriz, G. S.; Engel, R. G. Introduction to Organic Laboratory Techniques: A Small-Scale Approach, 4th ed.; Brooks/Cole, 2008.

[4] March, J. Advanced Organic Chemistry: Reactions, Mechanisms, and Structure; 4th ed.; Wiley, 1992.

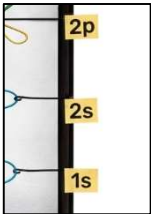
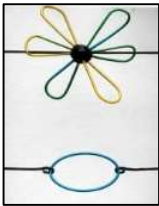
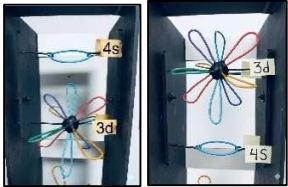
Nota: El diseño preliminar de la práctica fue apoyado mediante inteligencia artificial generativa (OpenIA, 2026)

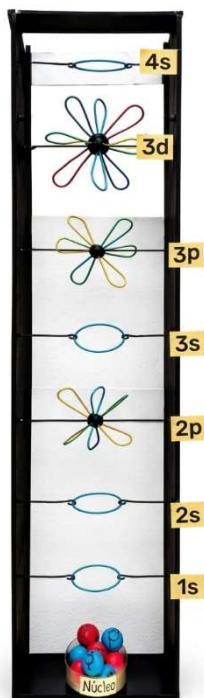
Anexo 8.

Manual de Usuario: Ábaco cuántico (Prototipo 2.0)

El ábaco cuántico es un dispositivo manipulativo tridimensional diseñado para ilustrar la distribución electrónica de los átomos hasta el Zinc ($Z=30$).

Especificaciones de los componentes

<i>Componente</i>	<i>Representación física</i>	<i>Función didáctica</i>
Núcleo 	Recipiente central transparente	Aloja protones (esferas azules) y neutrones (esferas rojas).
Varillas Horizontales 	Ejes de soporte	Representan los niveles de energía (n)
Aros /formas en alambre 	Geometrías s, p y d	Representan la morfología de los orbitales (l)
Esferas armables y removibles  	Elementos móviles en orbitales	Representan los electrones y su orientación de espín (m_s) (amarillo $+1/2$ y verde $-1/2$)
Ejes de rotación 	Mecanismo de giro	Ilustra la probabilidad y el número cuántico magnético (m_l)



- *Configuración del núcleo e isótopos*

1. Seleccione el elemento a configurar. Introduzca al núcleo el número de protones (esferas azules) correspondiente a su número atómico (z).
2. Noción de isótopo: Para explicar la masa atómica añada o retire neutrones (esferas rojas).

- Ejemplo: Para representar Carbono-12, use 6 protones y 6 neutrones. Para Carbono -14, mantenga los 6 protones y cambie a 8 neutrones. Note que la configuración externa no varía.

- *Llenado de electrones (principio de Aufbau)*

Manualmente coloque los removibles (electrones) sobre los orbitales uniendo dos mitades del mismo color, la unión de las dos representa un electrón en donde el carácter del espín lo da su color (amarillas $+1/2$ o verdes $-1/2$). Llenar los orbitales siguiendo el

orden de energía. $1s \rightarrow 2s \rightarrow 2p \rightarrow 3s \rightarrow 3p \dots$

- Visualización de espín

*Regla de Hund: Al llenar orbitales p o d , coloque un electrón con el mismo espín en cada lóbulo antes de aparearlos.

*Espín: Asegúrese de que, al aparear los dos electrones en un orbital, estos queden en el lóbulo opuesto del mismo orbital, pero uno con esfera amarilla y el otro verde, para representar $+1/2$ y $-1/2$.

*Probabilidad: Gire manualmente el orbital sobre su eje para demostrar que el electrón no está en un punto fijo, sino “deslocalizado” en esa región.

- Función especial: Cambio posicional físico del orbital 3d con el 4s.

Escenario #1: Llenado inicial (Potasio y Calcio)

En elementos ligeros, el orbital 4s tiene una energía ligeramente menor que el 3d.

Efecto de apantallamiento.

- Acción: Deslice el soporte del orbital 4s por debajo del nivel de los orbitales 3d.

Escenario #2: Elementos de transición (Escandio al Zinc)

A medida que se llenan los orbitales 3d, la interacción entre protones y electrones cambia las energías relativas. En muchos procesos de ionización, los electrones del 4s son los primeros en salir porque terminan estando más “afuera” o con energías distintas.

- Acción: Deslice el soporte del orbital 4s por encima del nivel de los orbitales 3d.

Anexo 9.

Instrumento de valoración **Pertinencia y diseño de alternativas de contextualización (TOM)**

Objetivo: Validar el potencial didáctico las alternativas de contextualización: Mapeo de contextos, Prácticas de laboratorio situadas (Café y Aspirina) y el prototipo del Ábaco cuántico 2.0.

1. Matriz de valoración cuantitativa y justificación.

Por favor, asigne un valor de 1 a 5, dónde: 5= Totalmente de acuerdo, 4= De acuerdo, 3= Neutral, 2= En desacuerdo y 1= Totalmente en desacuerdo.

<i>Dimensión y preguntas guía</i>	<i>Mapeo de contextos</i>	<i>Prácticas de laboratorio</i>	<i>Prototipo Ábaco cuántico</i>
¿El diseño del recurso logra reducir la carga cognitiva sin sacrificar el rigor del concepto?			
¿La interfaz (visual o física) es intuitiva para el nivel de desarrollo de sus estudiantes?			
¿En qué medida el recurso favorece el paso de una comprensión algorítmica (cuántica) en la construcción de un saber explicativo?			
¿El material facilita la transición entre el modelo atómico clásico y la Teoría de orbitales?			
¿Permite abordar conceptos críticos sin generar errores conceptuales?			
¿El recurso respeta la naturaleza probabilística del orbital evitando visiones deterministas?			
¿El recurso vincula la TOM con la resolución de problemas reales (salud, industria, café)?			
¿Fomenta que el estudiante argumente fenómenos cotidianos usando lenguaje científico?			
¿Es posible integrar este material en los tiempos y espacios reales de su institución?			
¿El nivel de autonomía que permite el recurso es adecuado para su grupo de estudiantes?			

2. Preguntas de profundización (Análisis del CDC)

Estas preguntas buscan capturar su visión como experto sobre el impacto real en el aula.

1. En el caso del ábaco cuántico ¿Considera que el paso de un modelo 2D (libros) a uno 3D manipulable modifica significativamente la percepción del estudiante sobre la geometría orbital?

 2. ¿En qué fase de su planeación (motivación, estructuración o transferencia) insertaría cada alternativa para maximizar el aprendizaje de la TOM?
 3. Según su experiencia ¿Cuál de las alternativas logra “romper” mejor el aprendizaje memorístico de la configuración electrónica en sus estudiantes?
 4. En las prácticas de café y aspirina, ¿Cree que el estudiante logra conectar la observación (color y olor) con la deslocalización electrónica, o el “salto conceptual” sigue siendo la mayor barrera?

 5. ¿Considera que el análisis de contextos como los Fármacos COVID-19 o Filtros UV, dota al estudiante de empoderamiento crítico frente a la ciencia más que el modelo tradicional?
-

Muchas gracias por su amable participación.