

**DISEÑO DE UNA PROGRESIÓN DE APRENDIZAJE HIPOTÉTICA
CON COHERENCIA CURRICULAR PARA LA ENSEÑANZA DE LA
ESTEQUIOMETRÍA POR COMPRENSIÓN CONCEPTUAL E INTEGRADA**

ROOSVELT CATAÑO PEREIRA



**UNIVERSIDAD DEL VALLE
INSTITUTO DE EDUCACIÓN Y PEDAGOGÍA
MAESTRÍA EN EDUCACIÓN
ÉNFASIS EN ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS NATURALES
SANTIAGO DE CALI
2016**

**DISEÑO DE UNA PROGRESIÓN DE APRENDIZAJE HIPOTÉTICA
CON COHERENCIA CURRICULAR PARA LA ENSEÑANZA DE LA
ESTEQUIOMETRÍA POR COMPRENSIÓN CONCEPTUAL E INTEGRADA**

ROOSVELT CATAÑO PEREIRA

Mg. Boris Fernando Candela Rodríguez

Director De Tesis



**UNIVERSIDAD DEL VALLE
INSTITUTO DE EDUCACIÓN Y PEDAGOGÍA
MAESTRÍA EN EDUCACIÓN
ÉNFASIS EN ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS NATURALES
SANTIAGO DE CALI
2016**



UNIVERSIDAD DEL VALLE
INSTITUTO DE EDUCACIÓN Y PEDAGOGÍA
MAESTRÍA EN EDUCACIÓN
ÁREA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN

FECHA DE LA SUSTENTACIÓN: Santiago de Cali, 4 de Octubre de 2016

ESTUDIANTE: ROOSEVELT CATAÑO PEREIRA - CÓDIGO: 1303698

TÍTULO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

**“DISEÑO DE UNA PROGRESIÓN DE APRENDIZAJE
HIPOTÉTICA CON COHERENCIA CURRICULAR PARA LA
ENSEÑANZA DE LA ESTEQUIOMETRÍA POR COMPRENSIÓN
CONCEPTUAL INTEGRADA”**

DIRECTOR DE TESIS: Profesor BORIS FERNANDO CANDELA RODRÍGUEZ

EVALUADORES: Profesora SANDRA SANDOVAL OSORIO
Profesor JOSÉ OMAR ZUÑIGA CARMONA

COMENTARIOS DE LOS JURADOS

APROBADO ☒
APLAZADO ☐
RECHAZADO ☐

Prof. SANTIAGO A. ARBOLEDA FRANCO
Subdirector de Investigaciones y Posgrados

Prof. SANDRA SANDOVAL OSORIO
Jurado Evaluador

Prof. BORIS FERNANDO CANDELA R.
Director de Tesis

Prof. JOSÉ OMAR ZUÑIGA CARMONA
Jurado Evaluador

Prof. EDWIN GERMÁN GARCÍA
(En reemplazo del Subdirector de Investigaciones)

A mi esposa y mi hijo y mi madre quienes son el motor que me motiva a seguir siempre adelante, más allá de toda adversidad.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por poner en mi camino las oportunidades y las personas que han sido en mi vida una verdadera bendición. Algo que he sentido siempre a lo largo de mi historia en esta tierra.

Inmensa gratitud a mi director de tesis, el profesor Boris Fernando Candela Rodríguez, a quien considero una persona ejemplar no solo por su disciplina académica, sino por sus muchos valores como persona entre los cuales resalta la generosidad, sencillez, paciencia y vocación de servicio. Gracias por la paciencia y la persistencia para sacar este proyecto adelante, por disponer siempre de su tiempo brindando sin reservas su sapiencia y experticia en el campo de la educación.

Agradezco también a mis profesores del programa de maestría en educación con énfasis en la enseñanza de las ciencias naturales, de quienes pude aprender lo mucho que me falta por conocer en el campo de la educación.

Quiero además agradecer a mis compañeros de cohorte y en especial a, Alexander, Tatiana Rocío, Cesar Augusto, Yovana, Sandra Patricia y William; de quienes mucho aprendí y a quienes les deseo la mejor de las suertes.

Gracias a mi hijo Luis Esteban, quien a pesar de su corta edad ha sabido sacrificar parte de nuestro tiempo que infortunadamente será imposible de recuperar.

Finalmente agradezco a mi esposa, quien ha sido paciente, inspiradora y leal. En últimas, la roca sobre la cual se edifica mi fe en las mujeres luchadoras. Sin su apoyo no hubiese sido posible culminar exitosamente mi trabajo. Para ella, mi amor incondicional.

Contenido

INTRODUCCIÓN.....	1
1 PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA	
1.1 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.2 ANTECEDENTES.....	6
1.3 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	8
2 MARCO CONCEPTUAL DE REFERENCIA.....	13
2.1 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN BASADA EN EL DISEÑO.....	12
2.1.1 La coherencia curricular como un principio de la investigación del diseño.....	15
2.1.1.1 Clases de coherencia curricular.....	17
2.1.2 La progresión de aprendizaje como una de las perspectivas del paradigma de la metodología de investigación basada en el diseño.....	20
2.1.2.1 Enfoques de las LP.....	25
2.1.3 Elementos que configuran el diseño de una progresión de aprendizaje.....	26
2.1.3.1 Las ideas centrales.....	26
2.1.3.2 El anclaje inferior.....	25
2.1.3.3 El anclaje superior.....	27
2.1.3.4 Niveles intermedios.....	28
2.1.3.5 Estándares de contenido.....	28
2.1.3.6 Estándares de indagación.....	29
2.1.3.7 Desempeños de aprendizaje.....	30
2.1.3.8 Metas de aprendizaje.....	31
2.2 MARCOS TEÓRICOS DE NIVEL GENERAL QUE INFORMAN EL DISEÑO DE LA HLP PARA LA ENSEÑANZA DE LA ESTEQUIOMETRÍA.....	32
2.2.1 Teorías del aprendizaje.....	32
2.2.1.1 Teorías constructivistas.....	33
2.2.1.1.1 Perspectiva sociocultural de Vygotsky.....	33
2.2.1.1.2 Teoría constructivista cognitiva.....	34
2.2.1.2 Teoría del procesamiento de la información.....	37
2.2.2 PEDAGOGÍA GENERAL.....	39
2.2.2.1 Técnicas, estrategias y modelos de enseñanza.....	40
2.2.2.1.1 Técnicas.....	40
2.2.2.1.2 Estrategias de enseñanza.....	40
2.2.2.1.3 Modelos de enseñanza.....	42
Modelo de las 5E.....	43
2.3.. TEORÍAS INTERMEDIAS.....	44
2.3.1 Del concepto de Didaktiks al Modelo de Reconstrucción Educativa.....	41
2.3.1.1 Didaktiks.....	45
2.3.1.3 Modelo de Reconstrucción Educativa.....	49
2.3.2 Los Experimentos de Enseñanza.....	53
2.3.3 Teoría de la mente y desarrollo metacognitivo.....	55
2.3.4 Desarrollo del lenguaje.....	57
2.3.4.1 Desarrollo del lenguaje desde la perspectiva de Vygotsky.....	57
2.3.4.2 Desarrollo del lenguaje desde la perspectiva de Bajtin.....	58
2.4 HERRAMIENTAS DE DISEÑO.....	59

2.4.1	Ciclo de aprendizaje.....	60
2.4.2	Diferenciación e integración de los niveles de representación en la química como herramienta de comunicación.....	62
2.4.3	Relación sinérgica entre los elementos que conforman la gran idea de la estequiometría.....	64
2.5	LA ESTEQUIOMETRÍA COMO EJE FUNDAMENTAL DE LA QUÍMICA CUANTITATIVA.....	66
2.5.1	Concepciones alternativas.....	70
2.6	EL ARTEFACTO CURRICULAR.....	72
3.	HIPÓTESIS, OBJETIVOS Y ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	73
3.1	HIPÓTESIS.....	73
3.2	OBJETIVOS.....	73
3.2.1	OBJETIVO GENERAL.....	73
3.2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	74
3.3	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	74
3.3.1	PRIMERA FASE: ANÁLISIS DOCUMENTAL.....	75
3.3.2	SEGUNDA FASE: ANÁLISIS DE DATOS PARA EL DISEÑO DE LA HLP.....	79
3.3.2.1	Análisis del contexto.....	82
3.3.2.2	Teorías de nivel de grano grueso que soportan el diseño de la progresión de la gran idea de la estequiometría.....	83
3.3.2.3	Análisis conceptual de la gran idea de la estequiometría para propósitos curriculares.....	86
3.3.2.4	Secuenciación, temporalización, representación y elección de estrategias pedagógicas de la gran idea de la estequiometría.....	88
4.	PRODUCTOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	91
4.1.1	CONTEXTO DE LA PROGRESIÓN DE APRENDIZAJE.....	91
4.1.2	TEORÍAS DE NIVEL DE GRANO GRUESO QUE SOPORTAN EL DISEÑO DE LA PROGRESIÓN DE APRENDIZAJE DE LA GRAN IDEA DE LA ESTEQUIOMETRÍA.....	104
	Aporte de las teorías del aprendizaje al diseño de la HLP de la gran idea de la estequiometría en un nivel e grano grueso.....	104
4.1.3	ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA GRAN IDEA DE LA ESTEQUIOMETRÍA PARA PROPÓSITOS CURRICULARES.....	107
	Aporte de las teorías intermedias al diseño de la HLP de la gran idea de la estequiometría.....	107
4.1.4	SECUENCIACIÓN, TEMPORALIZACIÓN, REPRESENTACIÓN Y ELECCIÓN DE ESTRATEGIAS PEDAGÓGICAS DE LA GRAN IDEA DE LA ESTEQUIOMETRÍA.....	114
4.2	MATERIAL INSTRUCCIONAL.....	117
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	128
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	133

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1.3.1 Ejemplo de la obtención de un desempeño de aprendizaje, al combinar un estándar de contenido con un estándar de indagación	31
Tabla 3.3.1. Contenido de la unidad de muestreo.....	76
Tabla 3.3.2. Contenido de la unidad de contexto.....	76
Tabla 3.3.3. Esquema del encabezado de la rejilla de análisis de contenido.....	72
Tabla 3.3.4. Relación de las categorías y subcategorías de la rejilla de análisis	78
Tabla 3.3.5. Sistema de elementos teóricos que sustentan el diseño de la HLP....	78
Tabla 3.3.6. Secciones de la HLP.....	80
Tabla 3.3.7. Contenido de la unidad de muestreo y contexto de la segunda fase.....	81
Tabla 3.3.8. Contenidos que sustentan el desarrollo teórico de la sección teorías de tamaño de grano grueso.....	84
Tabla 3.3.9. Contenidos que sustentan el desarrollo teórico de la sección teorías de grano medio y fino.....	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.2.1	Representación visual de la progresión de aprendizaje de enfoque escalonado.....	25
Figura 2.1.2.2	Representación del esquema de una HLP tipo paisaje.....	26
Figura 2.1.3.1	Relación entre los estándares y los desempeños de aprendizaje.....	31
Figura 2.2.1.	Modelo del procesamiento de la información.....	38
Figura 2.2.2.1.	Modelo de las 5E.....	43
Figura 2.3.1.2.1	Los tres componentes del Modelo de Reconstrucción Educativa (MER).....	50
Figura 2.3.1.2.2	Pasos para diseñar la estructura del contenido para la instrucción.....	51
Figura 2.3.2	Ciclo didáctico de los experimentos de enseñanza.....	54
Figura 2.4.1	Etapas del Ciclo de Aprendizaje.....	61
Figura 2.4.2	Niveles de representación.....	63
Figura 3.3	Flujograma de la metodología de investigación.....	75

RESUMEN

La estequiometría ha sido reconocida como uno de los tópicos de la química que representa mayor dificultad para su aprendizaje en los estudiantes de educación media e incluso a nivel universitario (Gabel, 1998). Una de las principales causas, está en la falta de coherencia de los materiales instruccionales, los cuales en muchas ocasiones no consideran aspectos fundamentales como los conocimientos prerrequisito, el lenguaje multinivel, o las concepciones alternativas (Pozo y Gómez, 1998). En este sentido, como propuesta para comenzar a superar la falta de coherencia intra-unidad en los materiales instruccionales, se plantea el diseño de una progresión de aprendizaje hipotética (HLP) para la enseñanza de la estequiometría.

En cuanto a la metodología, se desarrolló un proceso sistemático de análisis documental para una unidad de análisis conformada por artículos, capítulos de libros, lineamientos curriculares y estándares básicos de competencias nacionales e internacionales, en relación con las progresiones de aprendizaje y la estequiometría (Krippendorff, 1990).

Como resultado, del proceso de investigación se lograron tres aportes principales, el primero consiste en la construcción de un marco teórico para la HLP como perspectiva de los estudios de diseño, el segundo, es la elaboración de la HLP que recoge las teorías de dominio específico para la enseñanza de la estequiometría. Por último, el material instruccional representado en forma de interfaz para la enseñanza del tópico en consideración.

PALABRAS CLAVE: Progresiones de aprendizaje, estequiometría, teorías de dominio específico, comprensión conceptual

INTRODUCCIÓN

Las progresiones de aprendizaje (LP) son un paradigma emergente dentro del campo del diseño instruccional, que en los últimos años ha sido cada vez más reconocido en el ámbito nacional e internacional. Para describir su naturaleza, en principio puede afirmarse que las LP fueron diseñadas para la enseñanza de las ciencias y las matemáticas y aunque no hay un consenso sobre su definición, han sido descritas como ciclos estratégicamente desarrollados y secuencias de actividades instruccionales que orientan las rutas de aprendizaje de un tópico específico (Duschl, 2011).

En este orden de ideas, las LP como herramienta de diseño en el campo de la educación en ciencias, brindan la oportunidad de diseñar ambientes de aprendizaje para la enseñanza de tópicos específicos, contribuyendo a cerrar la brecha existente entre las teorías provenientes de la investigación sobre educación en ciencias y la práctica del diseño educativo. Desde esta perspectiva, es comprensible que en distintas naciones haya sido el principal referente para el diseño del currículum de ciencias incluyendo los materiales instruccionales.

Hoy día, el alcance de las LP se ha extendido, siendo en ocasiones el referente principal para el diseño del currículum de ciencias del sistema educativo de distintas naciones, entre otras razones debido a su efectividad en la superación de reconocidas dificultades en el campo de la educación como lo es el de la falta de coherencia entre los elementos del currículum de ciencias. De hecho, gracias a esta particularidad en los EE.UU. ha sido la herramienta clave para las actuales reformas del currículum de ciencias.

Ahora bien, las Progresiones de Aprendizaje Hipotéticas (HLP por Hypothetical Learning Progressions), son propuestas de diseño con el potencial para ser aplicadas en contextos específicos y con estudiantes particulares, para un tópico en especial o bien para un estudio longitudinal. Dicha flexibilidad, abre todo un abanico de posibilidades para el diseño de ambientes de aprendizaje y en especial el diseño de materiales instruccionales.

En el caso del presente trabajo de investigación, las HLP han sido empleadas como alternativa de solución para el diseño de materiales instruccionales con coherencia intra-unidad, que contribuyan en los procesos de aprendizaje por comprensión conceptual de la estequiometría. Dicha propuesta, podrá en un futuro

ser implementada con los estudiantes de grado 10º, como los de la Institución Educativa Rosa Zárate de Peña, del municipio de Yumbo (Valle del Cauca).

1. PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA

1.1 JUSTIFICACIÓN

En las últimas décadas los educadores de profesores han llegado al acuerdo tácito de que las diferentes reformas curriculares en ciencias que se han llevado a cabo en muchos países occidentales, no han impactado las aulas de ciencias de manera efectiva a pesar de que están sustentadas por ricos marcos teóricos provenientes de la investigación. De hecho, una de las evidencias de dicha afirmación está en los bajos resultados alcanzados por los estudiantes en pruebas estandarizadas como PISA y TIMMS, lo cual deja ver que ellos difícilmente han alcanzado un aprendizaje por comprensión conceptual e integrado de los diferentes tópicos de las ciencias (Fortus & Krajcik, 2012).

En este sentido, al interior del campo de la educación en ciencias ha tomado fuerza la creencia de que uno de los factores causantes de los bajos resultados de los estudiantes en dichas pruebas estandarizadas, es la falta de coherencia curricular en diferentes niveles (ej., materiales curriculares, metas de aprendizaje, estrategias instruccionales y de evaluación, entre otras). Sobre esta base, Fortus y Krajcik, (2012) afirman que de manera general los materiales curriculares de las ciencias, presentan una falta de coherencia intra e inter curricular. De hecho, en éstos se evidencia una desconexión entre elementos curriculares como: metas de aprendizaje, conceptos transversales, estándares de competencias, prácticas científicas, estrategias instruccionales y de evaluación (Schwartz, 2012).

Es decir, que la falta de coherencia intracurricular en los materiales instruccionales es generada por la insuficiente alineación entre los elementos fundamentales del currículum de ciencias, entre otras causas (Schwartz, 2012). Lo cual deja entrever que dichos materiales no han sido apropiadamente informados por las diferentes teorías del aprendizaje, tales como: las teorías del aprendizaje, la pedagogía general, las teorías del diseño instruccional, y la literatura en ciencias (NRC, 2012). Por lo tanto, se requiere una propuesta alternativa que brinde solución a dicha problemática, permitiendo relacionar de manera sistemática los elementos de la enseñanza.

En este sentido, la metodología de investigación sobre los estudios de diseño es considerada una línea de indagación prometedora¹. De hecho, se encuentra estructurada sobre un esquema de mejoramiento continuo que además compromete el componente de investigación y desarrollo. Así pues, en dicha línea el objeto de investigación se centra en el diseño de ambientes de aprendizaje de tópicos específicos o artefactos curriculares, sustentados sobre la base de dos aspectos complementarios. Por un lado, se incluye un conjunto de elementos tales como: los principales aportes de la literatura acerca de la manera en la que los estudiantes aprenden ciencias, las teorías sobre la pedagogía general y el diseño instruccional, y por otro, se considera la sabiduría proveniente de la experiencia al diseñador.

Ahora bien, entre los estudios de diseño resaltan las progresiones de aprendizaje hipotéticas (HLP) como una herramienta novedosa dentro del diseño de ambientes de aprendizaje. Su importancia para el presente estudio, tiene que ver con la generación de una serie de teorías de dominio específico y el diseño de materiales instruccionales. Desde luego, las primeras les suministran a los profesores y diseñadores del currículum de las ciencias una perspectiva teórica y metodológica para la enseñanza y aprendizaje del tópico en cuestión, en tanto, los segundos brindan a los estudiantes la oportunidad de alcanzar un aprendizaje por comprensión conceptual e integrada de la gran idea² de la estequiometría.

Es necesario recalcar, que la literatura basada en la investigación deja ver una limitada existencia de diseños relativos a progresiones de aprendizaje hipotéticas sobre tópicos del currículum de la química (Smith, 2006; Stevens & Krajcik, 2010). En este sentido, resulta pertinente el diseño de un ambiente de aprendizaje informado por las teorías del aprendizaje, la pedagogía general, las teorías del diseño instruccional y la literatura en educación en ciencias. De ahí que, se considere que el diseño de progresiones de aprendizaje hipotéticas estaría ayudando a disminuir la brecha existente entre la teoría proveniente de la investigación educativa y la práctica del diseño y la enseñanza (Schwartz, *et al.*, 2008).

Adicionalmente, es necesario recalcar, que la literatura basada en la investigación deja ver una limitada existencia de diseños relativos a progresiones de aprendizaje

¹ La metodología de investigación basada en el diseño es una línea de indagación versátil, que en el campo de la educación ha sido asumida desde diferentes enfoques, como son: Secuencias de Enseñanza y Aprendizaje; Progresiones de Aprendizaje; Corredores Conceptuales; Trayectorias de Aprendizaje y Experimentos de Diseño (Duschl, Schweingruber & Shouse, 2011).

² La expresión “gran idea” o “idea central” hace referencia a un tópico fundamental de las ciencias en el contexto de las HLP. Hace referencia a tópicos que reúnen los principios y conceptos centrales de las disciplinas científicas a partir de los estándares. De modo que se logra articularlos para generar formas poderosas de pensar acerca del mundo (Smith, 2006 [ver sección 2.1.3.1])

hipotéticas sobre tópicos del currículum de la química (Smith, 2006; Stevens & Krajcik, 2010). En este sentido, resulta pertinente el diseño de un ambiente de aprendizaje de la estequiometría para el campo de la educación en ciencias, ya que permite formular un precedente sobre las nuevas formas de diseñar el currículum de química mediante una estrategia fundamentada en la investigación en ciencias, la literatura sobre educación en ciencias y el diseño instruccional, recogiendo las principales herramientas derivadas de las disciplinas que alimentan la práctica educativa. Además, puede servir como referente para posteriores iniciativas de la misma índole, en la medida en la que su valor dentro del campo del diseño curricular cobre cada vez más reconocimiento, como se ha evidenciado en los últimos años.

Se destaca, que el diseño de esta progresión de aprendizaje hipotética (prospectiva) resulta clave para el campo de la educación en ciencias, dado que ayuda a extender la teoría sobre el proceso enseñanza-aprendizaje acerca de tópicos específicos en entornos complejos. De hecho, estos diseños permiten obtener nuevas rutas potenciales para el aprendizaje de la estequiometría y el desarrollo de los esquemas que la fundamentan a través de una serie de actividades de aprendizaje coherentemente seleccionadas, secuenciadas y temporalizadas (Cobb, *et al.*, 2003).

Otra utilidad de la HLP para la enseñanza de la estequiometría hace referencia, a que ésta puede ser implementada y evaluada por otro investigador o educador de profesores de ciencias en distintos escenarios educativos con el fin de validarla empíricamente. Naturalmente, que dicha faceta de este estudio está asociada con la naturaleza iterativa de la metodología de investigación basada en el diseño, cuyos resultados encarnan teorías acerca del aprendizaje de un dominio específico a nivel de grano fino (Brown, 1992; Collins, 1992). Además, esta progresión puede ser implementada en los cursos de “aprendiendo a enseñar química”, ya que, ayudaría a mediar el desarrollo del conocimiento pedagógico del contenido de la química de los estudiantes profesores.

Por otro lado, en el plano internacional la estructura de la HLP ha sido ampliamente reconocida como alternativa para el diseño de materiales instruccionales con coherencia intra-unidad (Schmidt, Wang & McKnight, 2005). Este último elemento, ha demostrado ser un factor determinante en los procesos de comprensión conceptual e integrado de tópicos específicos, lo cual se refleja en los resultados de los estudiantes en pruebas estandarizadas (Schwartz, 2008). De hecho, la falta de coherencia en los materiales instruccionales ha sido reconocida por la comunidad de educadores e investigadores en el campo de la educación en ciencias, como una de las principales causas del bajo desempeño de muchos estudiantes en pruebas como PISA Y TIMSS (Schmidt, Wang & McKnight, 2005).

Adicionalmente, Fortus y Krajcik (2012) afirman que muchos de estos materiales que frecuentemente apoyan el proceso de aprendizaje en las aulas de ciencias carecen de coherencia intra e inter curricular. Por ejemplo, en éstos se evidencia una desconexión entre elementos curriculares como: metas de aprendizaje, conceptos transversales, estándares de competencias, prácticas científicas, estrategias instruccionales y de evaluación.

En definitiva, las HLP surgen como una alternativa a tener en cuenta para comenzar a superar la falta de coherencia intra-curricular en los materiales instruccionales. Es decir, que sobre esta base es posible estructurar una propuesta para el diseño de un ambiente de aprendizaje que responda a las dificultades propias de la enseñanza de la estequiometría. Entre dichas limitaciones, se incluyen: el alto nivel de complejidad para su comprensión conceptual dada su naturaleza abstracta, la gran cantidad de conceptos que deben relacionarse, la dependencia de los conocimientos prerequisite, como son los esquemas conceptuales y la exigencia en los estudiantes de asociar y representar la materia así como sus interacciones a partir del lenguaje multinivel (Gabel, 1998).

En este orden de ideas, el presente trabajo se centra en el diseño de una progresión de aprendizaje hipotética acerca de la gran idea de la estequiometría, la cual requiere de un período de ocho semanas para su desarrollo. Esencialmente, ésta involucra postulados teóricos específicos sobre la enseñanza y el aprendizaje de la gran idea en cuestión, que resultan útiles para comprender las relaciones entre la teoría educativa, el diseño de materiales instruccionales y la práctica docente. Adicionalmente, brindará la oportunidad para ayudar a comprender la manera en la que las innovaciones educativas formuladas en las actuales reformas curriculares funcionarían en las aulas de química, que si bien no constituyen parte del trabajo actual, es probable que en un futuro cercano pueda ser llevado a la práctica dada la vigencia de la propuesta.

Finalmente, las teorías de dominio específico que se encuentran estrechamente vinculadas con la gran idea de la estequiometría informan el diseño de un material instruccional el cual poseen una coherencia intracurricular. En otras palabras, dichas teorías humildes se logran materializar a través del material curricular cuya tarea central descansa en andamiar el aprendizaje por comprensión conceptual e integrada de la gran idea de la estequiometría.

1.2 ANTECEDENTES

En la literatura existente sobre educación en ciencias, no se ha evidenciado la existencia de una Progresión de Aprendizaje Hipotética (HLP) para la enseñanza de la estequiometría. A la fecha, se han desarrollado un limitado número de progresiones de aprendizaje para algunos tópicos específicos relacionados con la química, entre los que se destacan los siguientes:

En primer lugar, el trabajo realizado por Smith, Wiser, Anderson y Krajcik (2006), sienta un precedente sobre el uso de las HLP en el campo de la educación en química, ya que aborda el desarrollo de una progresión de aprendizaje para la enseñanza de la teoría atómica y molecular de la materia. Dicha investigación, se centró en la manera en la cual los estudiantes razonan y aprenden entorno a grandes ideas, como base para llegar a un aprendizaje significativo, introduciendo además el concepto de *desempeños de aprendizaje*. Sus resultados, resultan de utilidad para los educadores de profesores, diseñadores del currículum y diseñadores de políticas educativas, ya que da luces sobre los procesos de razonamiento científico de los estudiantes. Adicionalmente, su trabajo hace aportes en relación con los procesos de evaluación formativa en el aula.

Adicionalmente, dicha investigación contribuyó en la construcción de la HLP para la estequiometría, al servir como referente en aspectos como el diseño y la secuenciación de las grandes ideas a partir de los estándares de competencias, así como en la elaboración de desempeños de aprendizaje y la evaluación formativa. Aspectos esenciales en toda HLP que deben ser tenidos en cuenta siempre.

Un segundo trabajo, desarrollado por Stevens, Delgado y Krajcik, (2009), describe los esfuerzos por desarrollar una progresión de aprendizaje hipotética (HLP) para estudiantes de 7° a 14°, sobre la estructura, comportamiento y propiedades de la materia, así como sus relaciones a nano escala, con la ciencia y la ingeniería (NSE). Esta HLP es multidimensional, y se basa en la investigación empírica y los documentos de los estándares, para describir la forma en la cual los estudiantes necesitan incorporar y conectar las ideas dentro y a través de sus modelos sobre la estructura atómica, las fuerza eléctricas que gobiernan las interacciones a escala atómica y molecular, así como la información contenida en la tabla periódica que permite explicar un amplio rango de fenómenos. La progresión se desarrolló a partir de datos empíricos que caracterizan la forma en la cual los estudiantes usualmente desarrollan su conocimiento, como parte del desarrollo y refinamiento de la HLP.

Este estudio, concluyó que la mayoría de los estudiantes que participaron se encuentran en el nivel inferior de la progresión, y no perciben las conexiones que se entretienen a través de la misma y que aportan a los procesos de comprensión conceptual. Así mismo, sugiere potenciales estrategias instruccionales que pueden ayudar a los aprendices a construir estructuras de conocimiento organizado e integrado para consolidar su comprensión, de modo que los prepare para las nuevas ideas de la ciencia, y los ayude a construir una comprensión de las disciplinas emergentes, tales como NSE, así como las disciplinas tradicionales de la ciencia.

En cuanto a la metodología, dicho trabajo se basó en el Diseño Centrado en el Constructo (CCD), el cual sirve de referente para el desarrollo de la HLP sobre la estequiometría, ya que considera los aspectos fundamentales de su estructura. Entre ellas, pueden mencionarse: los anclajes inferior y superior³, las metas de aprendizaje, las evidencias y las actividades de aprendizaje, así como los niveles intermedios ubicados entre los dos anclajes.

Por otro lado, se han realizado otras progresiones que en alguna medida replican aspectos descritos en las dos anteriores aunque no se enfocan directamente en la química. En este sentido, pueden citarse las siguientes:

El modelo computacional desarrollado por Liu, *et al.*, (2011), para la evaluación de progresiones de aprendizaje fue desarrollado para el seguimiento de algunos aspectos básicos de la química, la energía y la modelación. Este trabajo, posee elementos sobre la forma de evaluar que pueden ser tenidos en cuenta para el desarrollo de la HLP de la estequiometría, no obstante la necesidad de hacer ajustes.

El trabajo realizado por Jin y Anderson (2012), sobre la energía en los sistemas socio-ecológicos, considera el manejo transversal dentro del currículum acerca del concepto de energía en procesos como el ciclo del carbono, mediante una progresión de aprendizaje longitudinal (K-12). En esta investigación, se hace una discusión sobre las implicaciones de dicho concepto en relación con los estándares, el currículum y la enseñanza.

Finalmente, el trabajo de Parker, De los Santos y Anderson (2013) se enfoca sobre una progresión de aprendizaje acerca de los procesos de transformación del carbón, lo cual permite aproximarse a la manera en la que los estudiantes aprenden a usar las leyes de la conservación de la materia y la energía. Dicho estudio, tiene que ver con el mejoramiento de la comprensión conceptual de los

³ A lo largo del documento se hace mención de los anclajes inferior y superior, los cuales se corresponden respectivamente con los conocimientos prerrequisito y las metas de aprendizaje.

estudiantes sobre aspectos como la fotosíntesis o la respiración celular, cuando se tiene en cuenta la enseñanza explícita de las leyes de conservación de la materia y la energía, así como el uso de evaluaciones que sirvan como herramientas de aprendizaje.

1.3 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En las últimas décadas, los educadores e investigadores del campo de la educación en ciencias han visto con gran preocupación la dificultad de los estudiantes para alcanzar un aprendizaje por comprensión conceptual e integrada de tópicos específicos. Como consecuencia, buscando dar solución a ésta problemática desde distintas perspectivas, surgieron una serie de marcos teóricos entre los que se pueden mencionar: cambio conceptual, concepciones alternativas, relaciones multinivel, prácticas experimentales y conocimiento pedagógico del contenido entre otros (Nuthall, 1999; Candela, en prensa).

Así pues, con base en los marcos teóricos surgidos en el campo de la educación en ciencias, los diseñadores de políticas educativas tanto a nivel nacional como internacional, formularon reformas curriculares en busca de mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje. Entre ellos, pueden mencionarse el proyecto 2061 en EE.UU. (AAAS 1996), las reformas curriculares de la educación en ciencias (1998) y los estándares básicos de competencias para ciencias naturales (2004) realizadas en Colombia.

Si bien, estas reformas curriculares están sustentadas en unos sólidos marcos teóricos y metodológicos, a los cuales les subyacen unas metas en la educación en ciencias, éstas no han impactado efectivamente las aulas. De hecho se ha observado que en general tanto los estudiantes de los niveles de educación básica como la media, han evidenciado dificultades para alcanzar un aprendizaje por comprensión conceptual de los tópicos del currículum de ciencias, lo que suscitó nuevamente la inquietud de los investigadores en dicho campo (Klopfer, 1983; Bybee, 1997).

En este sentido, una de las principales causas de preocupación en el sector educativo de muchas naciones, fue la obtención de unos resultados desalentadores para sus estudiantes en el Tercer Estudio Internacional de Matemáticas y Ciencias (TIMSS)⁴. A partir de éste, los investigadores identificaron la coherencia curricular como una de las variables fundamentales que permiten

⁴ Las pruebas TIMSS (Third International Mathematics And Science Study), fueron realizadas en 1995 para evaluar a más de medio millón de estudiantes de 41 países, en los grados 4º, 8º y 12º (o último de la educación media), en las áreas de matemáticas y ciencias naturales (Takahira, S., et al, 1998)

predecir el éxito de los estudiantes en ciencias (Schmidt, Wang & McKnight, 2005). Coherencia que no se ha conseguido en el diseño de los materiales instruccionales de ciencias en países como EE.UU. y Colombia, a pesar de los intentos de ayudar a los estudiantes a conectar las ideas que configuran las disciplinas científicas, además de desarrollar estructuras significativas para la integración del conocimiento (Fortus & Krajcik, 2012). Por supuesto, esta restricción se ha traducido en el vasto conjunto de contenidos y prácticas científicas prescritos de manera superficial y desarticulada desde los estándares, dentro y a través de los diferentes grados de escolaridad (Erickson, 2007; Fortus & Krajcik, 2012).

De hecho, en el diseño de muchos de los materiales instruccionales de ciencias colombiano, llama la atención el elevado número de tópicos con profundidad insuficiente y falta de coherencia entre diferentes aspectos de la enseñanza como son: las metas de aprendizaje, las prácticas científicas, el diseño curricular de los contenidos, las estrategias instruccionales, las actividades de aprendizaje; las formas de evaluar las ideas científicas, entre otras (coherencia intra-unidad). Adicionalmente, la idea que está representada en la lección bajo consideración no es vinculada de manera consciente con otras ideas dentro del currículum vertical y horizontal de dicha disciplina científica (coherencia inter-unidad).

A lo anterior, se suma la falta de alineación en la secuencia curricular, ya que ésta no inicia con los conocimientos que deben de ser el prerrequisito para el desarrollo de los contenidos. Adicionalmente, es recurrente la inapropiada estimación de los tiempos de aprendizaje y la profundidad de los mismos, ya que en general responden a un diseño estándar. Por tanto, es común el desconocimiento de las características del estudiante y su contexto específico, así como la falta de articulación entre las grandes ideas y las prácticas científicas.

De otra parte, una de las evidencias que apoya la debilidad en la actual estructura curricular de los materiales instruccionales de ciencias naturales en Colombia, se tiene en los bajos resultados de la población de 15 años en la pruebas PISA. Esta situación, también se ha vivido en el contexto norteamericano donde sus estudiantes han alcanzado rendimiento inferior al esperado en este tipo de pruebas estandarizadas, hecho que ha llevado a los diseñadores de políticas educativas en conjunción con los investigadores a afirmar que dichos niveles de desempeño obedecen a la falta de coherencia curricular que presentan los materiales instruccionales implementados en las escuelas norteamericanas (OECD, 2013; Colombia en PISA 2012, [2013]).

Como puede observarse, la problemática curricular recogida por los materiales instruccionales antes mencionados, es una consecuencia directa de no tener en cuenta de manera explícita las teorías educativas de perspectivas generales y

específicas de las ciencias naturales⁵ durante el proceso de diseño (ej., las teorías del aprendizaje, la pedagogía general, las teorías del diseño instruccional, y la literatura en ciencias). Como alternativa, el diseño de ambientes de aprendizaje de tópicos específicos informados por esta clase de teorías de naturaleza genérica, le permite al diseñador o profesor establecer de manera sistemática las relaciones entre los elementos de la enseñanza, y de esta manera superar la falta de coherencia intra e inter-curricular (Reigeluth, 1999 & Wiley, 2000).

Finalmente, los estudios de diseño de ambientes de aprendizaje de tópicos específicos tienen como uno de sus propósitos claves ayudar a disminuir la ruptura existente entre la teoría proveniente de la investigación educativa, la práctica del diseño y la enseñanza (Lagemann, 2002; National Research Council [NRC], 2002; Levin & O'Donnell, 1999). Para ello, el diseñador a lo largo del proceso de diseño toma la decisión de seleccionar los elementos teóricos provenientes de las teorías de naturaleza general y específica que estén alineados con el tópico en consideración, con el fin de apoyar la toma de decisiones curriculares e instruccionales, las cuales posteriormente se traducirán en la estructura lógica del material instruccional en mención.

Pasando al plano disciplinar, llama la atención que la compleja situación hasta ahora enunciada, es común para el diseño de ambientes de aprendizaje de los tópicos de las distintas áreas de las ciencias naturales y tiende a acentuarse en la química. Punto de vista reconocido desde tiempo atrás por distintos educadores e investigadores del campo de la educación en ciencias. Así pues, las ideas que configuran la estructura lógica de dicha disciplina resultan ser de un nivel alto de complejidad para su comprensión conceptual, destacándose la estequiometría. Naturalmente, esta idea es considerada difícil de internalizar como consecuencia de su alta naturaleza abstracta, la gran cantidad de conceptos que deben relacionarse, la dependencia de conocimientos prerrequisito y la exigencia en los estudiantes de asociar y representar la materia así como sus interacciones a partir del lenguaje multinivel (Gabel, 1998).

Adicionalmente, debe tenerse en cuenta que la estequiometría es una de las grandes ideas de la química, ya que reúne elementos de la química cualitativa y cuantitativa sobre los cuales se construyen otras grandes ideas de esta disciplina. Es decir, que por tratarse de un tópico clave, no solo ayuda a que los aprendices afiancen los conocimientos prerrequisito para el desarrollo de dicha gran idea, sino

⁵ Las teorías generales o de tamaño de grano grueso, hacen referencia a las teorías del aprendizaje y la pedagogía general. Las teorías intermedias, hacen alusión a referentes de tamaño de grano medio, como son los modelos y teorías que han dado origen a las Progresiones de Aprendizaje. Por su parte, las teorías de grano fino, son teorías de dominio específico, que recogen la toma de decisiones curriculares e instruccionales de un tópico específico (ver sección 2.4).

que es un pilar fundamental para la comprensión de otros contenidos disciplinares. Por lo tanto, se requiere del diseño de ambientes de aprendizaje y materiales instruccionales con coherencia intracurricular, propicios para el aprendizaje por comprensión conceptual e integrada del tópico en consideración. De esta manera, se contribuiría en la formulación de nuevas teorías de dominio específico, las cuales podrían resultar de utilidad para otros profesores y diseñadores de materiales instruccionales.

Como respuesta a la problemática descrita, en tiempos recientes ha aumentado el interés dentro de la comunidad de educadores de ciencias por el diseño de lecciones que permitan alinear los materiales instruccionales, las estrategias de enseñanza y la evaluación con el propósito de obtener currículos coherentes dentro y a través de los grados para superar la falta de coherencia en el currículo de ciencias. Desde luego, este tipo de reformas del currículo de ciencias requiere de un plan de desarrollo a largo plazo, durante el cual se logren diseñar materiales instruccionales que brinden a los estudiantes la posibilidad de alcanzar una comprensión conceptual e integrada de las distintas áreas de las ciencias, desde la educación básica hasta la media técnica.

En este sentido, en las últimas décadas ha emergido desde la línea del diseño instruccional la perspectiva de las Progresiones de Aprendizaje Hipotéticas (HLP). Efectivamente, este instrumento resulta pertinente para el diseño de un material instruccional de la gran idea de la estequiometría, dotado con los atributos necesarios en cuanto a coherencia intra-unidad, ya que permite la alineación de elementos esenciales como: los conocimientos prerequisite, las sub-ideas derivadas de los distintos estándares del tópico en consideración, las prácticas científicas y las metas de aprendizaje, entre otros.

Se destaca, que dichas sub-ideas deben brindar al estudiante la oportunidad de construir el concepto de la estequiometría en forma prospectiva y orden creciente de complejidad. Así, los aprendices podrían desarrollar de manera articulada cada una de las fases, gracias a la gestión del docente. Para lograr dicho propósito, los principales aspectos de la estequiometría deben ser abordados secuencialmente, iniciando con las sub-ideas que recogen los esquemas conceptuales prerequisite para el desarrollo de la progresión, y avanzando hacia las sub-ideas más demandantes conceptualmente. Es por tales razones, que se necesita integrar en la HLP además de los esquemas conceptuales, elementos relacionados con el manejo del lenguaje y la memoria de trabajo de los estudiantes.

Finalmente, los diseñadores de las políticas curriculares e investigadores del campo de la educación en ciencias han comenzado a ver el diseño de Progresiones de Aprendizaje de tópicos específicos como una heurística para el diseño de materiales instruccionales con coherencia curricular. Naturalmente,

dichos materiales asistirían a los estudiantes en el aprendizaje por comprensión conceptual de la gran idea disciplinar.

Tomando en consideración los anteriores presupuestos, este estudio tiene como propósito dar respuesta al siguiente interrogante de investigación:

¿Cómo diseñar una progresión de aprendizaje con coherencia curricular, que le permita al estudiante alcanzar una comprensión conceptual e integrada de la gran idea de la estequiometría?

2. MARCO CONCEPTUAL DE REFERENCIA

“Es importante recordar que no existe una fórmula para un gran diseño. Por definición, este es un proceso de resolución de problemas que no puede ser descrito paso a paso”

Trudy K. Christensen

2.1. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN BASADA EN EL DISEÑO

La investigación basada en el diseño es un paradigma emergente para el estudio del aprendizaje en contextos específicos. Esta clase de investigación es de carácter formativo, y tiene como fin diseñar, implementar y evaluar ambientes de aprendizaje para generar teorías de dominio específico. Su estructura, se fundamenta en el diseño sistemático, el estudio de estrategias instruccionales y herramientas, que buscan disminuir la brecha existente entre investigación en el campo educativo y los problemas de aprendizaje en contextos reales (Brown, 1992; Collins, 1992).

La expresión “método de investigación basado en el diseño” (Hoadley, 2002) puede tener similitudes con otros enfoques de indagación. Desde luego, comparte con éstos las siguientes características:

- 1) La meta principal de diseñar ambientes de aprendizaje y desarrollar teorías o “prototeorías” de aprendizaje, se encuentran entrelazadas.
- 2) La investigación y el desarrollo se dan a través de ciclos continuos de diseño, implementación, análisis y rediseño (Cobb, 2001; Collins, 1992).
- 3) La investigación sobre el diseño puede producir teorías útiles para otros investigadores en campos afines.
- 4) La investigación debe explicar la manera en la que el diseño funciona en entornos auténticos, sin limitarse solamente al esquema escrito.
- 5) El desarrollo de dichas explicaciones se basa en los métodos que pueden documentar y relacionar los procesos representados para la obtención de los resultados buscados (Baumgartner, 2003).

Por lo general, la metodología basada en el diseño pretende resolver problemas de naturaleza práctica como la enseñanza y el aprendizaje. Para ello, apoyándose en las teorías del aprendizaje, el currículum, la psicología y otras disciplinas de referencia, el diseñador construye artefactos curriculares focalizados en un contenido específico. Seguidamente, dichos artefactos son implementados, evaluados y rediseñados, situación que tiene una doble función, resolver los problemas prácticos y enriquecer la teoría sobre el aprendizaje y la enseñanza.

Un aspecto de la investigación basada en el diseño, es el trabajo mancomunado entre los investigadores y los diferentes agentes educativos con el propósito de producir cambios significativos en los contextos, en este caso el aula de clase. Dicho trabajo colaborativo, permite descubrir nuevas relaciones entre las numerosas variables que de alguna manera forman parte del ámbito educativo, lo cual contribuye a refinar los componentes clave de una intervención. Esto se puede traducir, en la generación de heurísticas para quienes buscan poner en práctica las innovaciones en su propio entorno, y eventualmente direccionar reformas en las políticas educativas tendientes a mejorar los procesos de enseñanza.

Las ventajas de la investigación basada en el diseño en el campo educativo son numerosas. Entre las más prometedoras pueden mencionarse las siguientes:

- a) La exploración de nuevas posibilidades para crear nuevos ambientes de aprendizaje.
- b) El desarrollo de teorías sobre el aprendizaje y la instrucción basados en el contexto.
- c) Avanzar y consolidar el conocimiento sobre el diseño.
- d) Aumentar la capacidad para la innovación en educación

Los anteriores presupuestos permiten considerar que las teorías generadas desde la metodología de investigación basada en el diseño son diferentes a las teorías del aprendizaje y el currículum. Las primeras tienen como fin central el informar a los profesores y agentes educativos sobre cuáles son las mejores perspectivas para enfrentar el problema de la enseñanza de un tópico específico, en tanto el segundo aspecto, tiene como interés el de explicar como un sujeto aprende. Estas dos especies de teorías no son excluyentes sino complementarias.

Finalmente, el paradigma de la investigación del diseño o experimentos de diseño ha dado origen a una diversidad de perspectivas de diseño, tales como: secuencias de enseñanza y aprendizaje; corredores conceptuales; trayectorias de aprendizaje y progresiones de aprendizaje, entre otras. De hecho, cada una de éstas tiene sus particularidades, pero, también un alto número de aspectos en

común. Se destaca, que el presente estudio está enmarcado dentro de la perspectiva de las progresiones de aprendizaje a pequeña escala (con una duración de ocho semanas), el cual será descrito más adelante.

Uno de los aspectos fundamentales que comparten las distintas perspectivas del diseño, tiene que ver con la coherencia curricular. Esta, en sus distintas formas será el tema que a continuación se abordará, por tratarse de un principio para diseñar ambientes de aprendizaje.

2.1.1 La coherencia curricular como un principio de la investigación del diseño

La coherencia curricular de los materiales instruccionales, se ha considerado como uno de los factores determinantes para el éxito de los estudiantes tanto en sus procesos de aprendizaje y formación, como en su desempeño en ciencias naturales al momento de participar en pruebas estandarizadas, bien sea a nivel nacional o internacional. Es decir, que la falta de coherencia curricular en los materiales puede afectar negativamente el nivel de comprensión conceptual del currículum de las ciencias por parte de los estudiantes.

Esta percepción, aflora en las numerosas publicaciones de la literatura especializada. De hecho, las naciones cuyos estudiantes ocupan las primeras posiciones a nivel mundial en pruebas estandarizadas (ej., TIMSS & PISA), se caracterizan por poseer dicha coherencia en sus materiales instruccionales (Schmidt, Wang, & McKnight, 2005). Además, éstos se encuentran alineados con las estrategias instruccionales y los procesos de formación docente.

Ahora bien, resulta lógico pensar que los ambientes de aprendizaje en la escuela para ser atractivos hacia los estudiantes, deben contar con una serie de condiciones, las cuales van más allá del aspecto físico o logístico. Es así, como factores fundamentales que incluyen la motivación por el aprendizaje y los resultados académicos, están íntimamente relacionados con la coherencia curricular en términos de secuenciación de los tópicos que configuran las grandes ideas de la ciencia y la profundidad con la que se estudian dentro y a través de los grados, además de la alineación en las metas de aprendizaje en cuestión (Schmidt, Wang & McKnight, 2005). En efecto, los materiales instruccionales que recojan los anteriores elementos le permitirían al estudiante establecer relaciones conceptuales y jerárquicas, las cuales servirían para que ellos pudiesen explicar o predecir fenómenos naturales.

Así pues, contar con materiales instruccionales diseñados apropiadamente, facilitaría que los estudiantes encontrasen sentido a lo que aprenden, ya que los contenidos deben guardar una relación entre los tópicos ya aprendidos, los que se

trabajan en su momento y los que se verán en el futuro. Claro está, de acuerdo a las posibilidades de cada estudiante según su edad.

Por otra parte, existen aún muchos aspectos por superar en lo que al diseño curricular se refiere. En ese sentido, los estudios de Kesidou & Roseman (2002) y Stern & Roseman (2004), han revelado tres aspectos fundamentales en cuanto a las limitaciones del currículo de USA, que no son ajenos al sistema educativo de otros países. El primero de ellos, menciona que la mayoría de los currículos tienen en común un rango de tópicos extremadamente amplio por cubrir a lo largo de la escolaridad, además no alinea coherentemente las metas de aprendizaje, las estrategias curriculares, las actividades de aprendizaje, las estrategias de evaluación, con la edad apropiada de los estudiantes. El segundo aspecto, considera la dispersión y fragmentación de las ideas clave y su relación dentro y a través de los grados. En el tercero se hace énfasis en que no se tienen en cuenta las creencias ni los conocimientos previos de los estudiantes. Estos obstáculos, exigen un cambio radical en el diseño de ambientes de aprendizaje, si se busca que los estudiantes aprendan por comprensión conceptual e integrada las grandes ideas del currículo de las ciencias.

Sabiendo que el aprendizaje por comprensión conceptual e integrada tiene que ver con la capacidad que desarrolla un sujeto para establecer relaciones entre las ideas científicas con el fin de darle sentido a determinado fenómeno natural, se hace necesario diseñar ambientes de aprendizaje que brinde esta posibilidad. De hecho, dichos ambientes deben tener alineados elementos de la enseñanza como: metas aprendizaje; grandes ideas; prácticas científicas; conceptos transversales; estrategias instruccionales y de evaluación (Roseman, J. E. & Linn, M. C, 2004). En este orden de ideas, los estudiantes podrán desarrollar la capacidad para explicar nuevas situaciones y realizar predicciones, en la medida en la que logren establecer las relaciones pertinentes, con base en la apropiación de los conceptos. Herramientas de valor para individuos que pueden realizar aportes en su entorno.

Así pues, la coherencia curricular presupone el avance progresivo de las grandes ideas, dentro de un mismo nivel y a través de los diferentes grados de escolaridad, hacia formas de pensamiento cada vez más sofisticadas, en la estructura de las disciplinas, alcanzando con el tiempo mayor profundidad, la cual es denominada rigor⁶. Dicha profundidad, permite establecer diferencias entre lo que la escuela debe ofrecer al común de los ciudadanos, comparado con lo que quienes pertenecen a alguna especialidad requieren saber sobre su disciplina en particular

⁶ El término rigor (*rigour*), es una definición de Bruner (1995) empleada para describir la naturaleza progresiva de la comprensión. Esta expresión, se ajusta a las características de las progresiones de aprendizaje, ya que contribuye a describir la profundidad alcanzada dentro de la estructura de la disciplina. Este aspecto de la coherencia, facilita la determinación de los contenidos que son fundamentales para la comprensión y el nivel de escolaridad en el que deben ser incluidos (Schmidt, 2005)

(Schmidt, 2005). Para los intereses del desarrollo de la presente progresión, se tendrán en cuenta distintos tipos de coherencia, prestando especial atención en la coherencia intra-unidad e inter-unidad, las cuales describen un tipo particular de alineación entre los instrumentos del sistema educativo tales como: los estándares, los textos escolares, la evaluación y las políticas educativas.

Infortunadamente, la falta de coherencia intra e intercurricular en muchos de los materiales instruccionales no compromete a los estudiantes con los fenómenos relevantes, ni los apoya en el desarrollo progresivo de habilidades para la comprensión y el razonamiento. Esta situación, se pone de manifiesto en la dificultad que éstos tienen para aprender por comprensión conceptual e integrada los tópicos de las ciencias, ya que este tipo de currículo no enfrenta al estudiante con situaciones del mundo cotidiano, en donde se vea abocado a emplear el conocimiento científico para dar respuesta a problemas reales. Como consecuencia, los docentes y los estudiantes no encuentran un soporte suficientemente sólido para el logro de las metas de aprendizaje (Schmidt, 2005).

Se destaca que los intentos por diseñar y desarrollar materiales curriculares caracterizados por un alto nivel de coherencia han sido pocos. Desde luego, aquellos materiales presentan una serie de restricciones, tales como: desarrollo de unidades individuales que no contribuyen a la coherencia a través de las disciplinas, ni dentro de un mismo grado ni a través de los distintos grados de escolaridad. Adicionalmente, descuidan aspectos clave como: los conocimientos previos de los estudiantes, las concepciones alternativas con los cuales llegan los estudiantes al tema en cuestión, y los niveles en los cuales se habrán de desarrollar (Schmidt, 2005).

Finalmente, algunos autores plantean que el diseño de materiales curriculares coherentes implica crear un conjunto de unidades formadas por lecciones que presenten coherencia intra e intercurricular dentro y a lo largo de los grados. Es decir, que lo que ocurre en una unidad guarde una relación causa-efecto con la unidad previa y con la posterior. Es por ello, que no pueden ser concebidas de manera individual, y por el contrario, deben de estar íntimamente integradas para formar una estructura coherente (Newmann, *et al.*, 2001; Schmidt *et al.*, 2005).

En este sentido, la investigación en el campo de la educación en ciencias ha evidenciado la existencia de varias formas de coherencia. Como podrá observarse a continuación, éstas relacionan los principales elementos que configuran la progresión de aprendizaje.

2.1.1.1 Clases de coherencia curricular

El campo de la educación en ciencias en general y la línea del diseño de forma particular consideran que existen diferentes niveles de coherencia curricular. Se

destaca, que cada uno de éstas cumple una función fundamental en el diseño, la implementación y evaluación de un tópico de las ciencias. De ahí que, las actuales reformas en la educación en ciencias en muchos países han comenzado a tenerlas en cuenta.

Desde luego, que los diferentes niveles de coherencia curricular tiene aspectos convergentes y divergentes, los cuales les dan su identidad y utilidad dentro del proceso del diseño de ambientes de aprendizaje. En ese sentido, la comunidad de profesores e investigadores en el campo de la educación en ciencias, ha establecido distintas clases de coherencia entre los cuales sobresalen las siguientes: 1) coherencia en las metas de aprendizaje, 2) coherencia intra-unidad entre el contenido de las metas de aprendizaje las prácticas científicas y las actividades de aprendizaje, 3) coherencia inter-unidad que da soporte a las conexiones multidisciplinares y las dependencias, 4) coherencia en los estándares de contenido, 5) coherencia en las prácticas científicas, 6) coherencia en la evaluación 7) coherencia en el lenguaje, 8) coherencia en el material de enseñanza. Es de aclarar, que cada de las anteriores perspectivas posee sus propios desafíos, los cuales deben ser asumidos de acuerdo a las necesidades específicas de cada entorno.

A continuación se relacionan las diferentes clases de coherencia curricular, que son de interés para el desarrollo de la progresión de aprendizaje:

1. En lo referente a la *coherencia en las metas de aprendizaje*, puede decirse que éstas son un conjunto de aquellas ideas de aprendizaje que los estudiantes deben desarrollar de manera profunda dentro y a lo largo de los grados de escolaridad. En este sentido, para conseguir una serie de metas de aprendizaje que direccionen el desarrollo de una comprensión conceptual e integrada de los conocimientos científicos en los aprendices, debe contarse con los siguientes criterios:

- ☞ Destilar un conjunto de estándares a partir de los establecidos por el currículum prescripto por el estado, teniendo en cuenta que estos recojan las metas de aprendizaje seleccionadas para la unidad en cuestión.
- ☞ Adscribir las metas de aprendizaje a los estándares previamente seleccionados.
- ☞ Secuenciar y temporalizar los estándares junto con sus metas de aprendizaje dentro y a través de los grados.

En otras palabras, se trata de una intención de diseño que permite seleccionar, secuenciar y temporalizar las metas de aprendizaje a través de los distintos

grados de escolaridad y al interior de cada uno de ellos. De este modo, los estudiantes al avanzar por el corredor conceptual van alcanzando de manera progresiva un pensamiento más sofisticado sobre la gran idea en consideración. Adicionalmente, se consigue especificar lo que ellos deben estar en capacidad de hacer con el conocimiento (Fortus & Krajcik, 2012). De esta forma, un conjunto coherente de metas de aprendizaje sumadas con los estándares de contenido, constituyen el punto de partida para el diseño de las progresiones de aprendizaje.

2. La *coherencia intra-unidad*, resulta del proceso de alineación entre los elementos del diseño curricular, tales como: estándares de contenido, metas de aprendizaje, prácticas científicas, estrategias instruccionales, actividades de aprendizaje y evaluación. Así pues, en una lección coherente se coligan los anteriores elementos con el propósito de describir el corredor conceptual por donde transitará el estudiante de forma progresiva, con el ánimo de alcanzar las expectativas propuestas por la sociedad a través del currículum prescripto por el estado.

3. La *coherencia inter-unidad*, tiene por objeto secuenciar las metas de aprendizaje los contenidos y las prácticas científicas a través de las distintas unidades de una misma disciplina, así como entre diversas disciplinas dentro y a lo largo de los grados de escolaridad. Por ejemplo, la biología, la física y la astronomía.

4. La coherencia en los estándares de contenido, implica que estos se encuentren articulados como una secuencia de tópicos y desempeños de aprendizaje que reflejen la estructura lógica de la disciplina científica. Adicionalmente, deben prevalecer dos condiciones, tanto a través de los diferentes grados de escolaridad como dentro de cada uno de ellos, la primera, implica que la secuencia antes mencionada debe desarrollarse en orden creciente de complejidad, y, la segunda, comprende la interconexión al interior del conjunto de estándares (Schmidt *et al.*, 2005)

5. La coherencia en las prácticas científicas, tiene en cuenta las normas de quienes hacen ciencia para construir, evaluar, comunicar y razonar entorno al conocimiento científico. Llevando lo anterior al aula, dichas prácticas caracterizan la manera en la que los estudiantes usan la comprensión del conocimiento científico para dar sentido y explicar el mundo. Su importancia, se evidencia en la posibilidad de generar en los aprendices el aprendizaje por comprensión conceptual y además en el hecho de permitir el acceso al conocimiento disciplinar de la ciencia misma (Lehrer & Schauble, 2006).

6. La coherencia en la evaluación, debe darse dentro de una unidad de manera continua y debe estar alineada con las metas de aprendizaje según el nivel de

comprensión correspondiente al grado. Por tanto, debe haber una progresión en las evaluaciones a lo largo de la unidad, para profundizar en la capacidad de comprensión, de modo que pueda enfocarse en múltiples objetivos, para conseguir su carácter integral (Fortus & Krajcik, 2012).

7. La Coherencia en el lenguaje, permite una apropiada comunicación, evitando concepciones alternativas como producto de malas interpretaciones. Es por ello, que el uso de las expresiones debe ser consistente, haciendo la claridad sobre los diferentes significados de un mismo término cuando sea oportuno.

8. La coherencia en el material de enseñanza, se refleja en la estructura del material impreso, de manera que los conceptos desarrollados en las primeras unidades guarden relación con los tópicos subsiguientes. Así, los estudiantes pueden desarrollar una comprensión integrada del conocimiento y no un aprendizaje de tópicos aislados, logrando entonces relacionar las ideas dentro de una unidad y a través de ellas (Schwartz, 2008).

Puede observarse, que las diferentes formas de coherencia deben complementarse entre sí. No obstante, el hecho de seguir una lógica casi obvia, resulta ser un aspecto por mejorar en la estructura curricular de los materiales educativos de los cuales se dispone. En respuesta, las progresiones de aprendizaje poseen en las distintas clases de coherencia una de sus principales fortalezas, como se indica a continuación.

2.1.2 La progresión de aprendizaje como una de las perspectivas del paradigma de la metodología de investigación basada en el diseño

Los marcos teóricos y metodológicos que sustentan los paradigmas emergentes de investigación, conocidos como estudios basados en el diseño, destacan que los sujetos pueden internalizar de manera progresiva las grandes ideas de las ciencias siempre y cuando, el proceso de enseñanza y aprendizaje esté mediado por materiales de enseñanza que posean una coherencia intra e inter-unidad. De allí, que se haya generado una diversidad de enfoques de diseño cuyo propósito central es de asistir a los estudiantes en la comprensión conceptual e integrada de las grandes ideas dentro y a lo largo de los grados. Por ejemplo, dentro del campo de la educación en ciencias se dieron los corredores conceptuales, las teorías del diseño instruccional, las trayectorias conceptuales (Driver, Leach, Scott, & Wood-Robinson, 1994), los corredores de desarrollo (Brown, 1997), las secuencias de enseñanza y aprendizaje (Amettler, Leach & Scott, 2007) y las progresiones de aprendizaje (National Research Council [NRC], 2007).

Por otra parte, la metodología de investigación basada en el diseño para informar la construcción de ambientes de aprendizaje de un tópico específico se apoya en

marcos teóricos como: teorías del aprendizaje; teorías del currículum, conocimiento proveniente de la educación en ciencias y conocimiento tecnológico. En efecto, al diseño curricular lo subyace un marco teórico de tamaño de grano fino, el cual direcciona la construcción de materiales de enseñanza con coherencia intra e inter-unidad. Adicionalmente, dichos enfoques de diseño reconocen la importancia del discurso disciplinar en el aprendizaje, y las estrategias de evaluación formativa, entre otros factores que son esenciales para el avance de los estudiantes de manera secuencial y coordinada hacia la comprensión conceptual de tópicos específicos de las ciencias naturales. Lo anterior, obedece al hecho de que en términos generales las líneas de diseño mencionadas se fundamentan en la investigación sobre el aprendizaje, para estructurar el currículo de ciencias naturales.

De manera previa al surgimiento del enfoque de progresión de aprendizaje, Brown (1996) introdujo la perspectiva de *Corredor de Desarrollo*. Éste, fue planteado como una ruta de aprendizaje dentro y a través de los grados de escolaridad que tiene en cuenta la edad de los estudiantes. En esencia, propone que la introducción de los conceptos en los aprendices ocurre en los primeros años de escolaridad. Desde entonces, con el paso del tiempo se adquiere de manera progresiva un mayor grado de refinamiento, el cual se prolonga hasta concluir su permanencia en la escuela.

Ahora bien, las Progresiones de Aprendizaje (LP) como una de las perspectivas de los estudios de diseño, se han empezado a considerar como un enfoque de diseño emergente dentro del campo de la educación en ciencias, razón por la cual la literatura existente sobre el tema aparece publicada principalmente a partir del año 2009 (Duschl, 2011). Se destaca que, al igual que los otros enfoques sobre el diseño de ambientes de aprendizaje éste tiene su génesis desde los experimentos de enseñanza y los estudios de entrevista clínica. De ahí que, se considere que entre los marcos teóricos y metodológicos que fundan a los diferentes enfoques de diseño se encuentran más puntos en común que divergencias.

En este sentido, se puede afirmar que las progresiones de aprendizaje son estudios de diseño que pretenden integrar los principales componentes del currículum de ciencias, con el fin de conseguir una estructura coherente en todas sus dimensiones. De esta manera, buscan dar respuesta a la falta de alineación entre el diseño curricular, los materiales para la enseñanza, la práctica pedagógica y la evaluación.

Mirando retrospectivamente, las progresiones de aprendizaje surgieron como resultado de las iniciativas coordinadas en USA por The National Research Council (NRC) y The National Assessment Governing Board (NAGB), para mejorar

la relación entre el currículo de ciencias, la enseñanza y la evaluación. En lo relativo a ésta última, algunos de los emprendimientos mencionados fueron dirigidos hacia la revisión del desarrollo de evaluación del aprendizaje de las ciencias naturales (NRC, 2005), así como la elaboración de nuevos lineamientos para el diseño de exámenes estatales, lo cual generó el documento *Systems for state science assessments* (NRC, 2005). Otro de estos esfuerzos, fue encaminado hacia la revisión del sistema de evaluación nacional, conocido como National Assessment of Educational Progress (NAEP) dentro del Marco de Ciencias (NAGB, 2008). Un tercer trabajo, consistió en una síntesis de la investigación realizada por el NRC sobre el aprendizaje de las ciencias por parte de los niños entre los niveles de preescolar hasta grado octavo, que dio lugar al documento *Taking science to school* (NRC, 2007).

Adicionalmente, como producto del intercambio entre los panelistas que realizaron los trabajos antes mencionados, surgieron dos publicaciones complementarias acerca del diseño de tópicos específicos, una sobre la materia y la teoría atómica y molecular (Smith, *et al.*, 2004) y, otra sobre la evolución (Catley, Lehrer, & Reiser, 2005). A partir de ellas, es posible identificar la manera en la que surgen los desempeños de aprendizaje así como los lineamientos para la evaluación de éste. De donde a su vez, emerge la posibilidad de tomar decisiones de orden curricular e instruccional, con el fin de diseñar un currículo coherente dentro y a través de los grados, como se ilustrará más adelante.

Como punto de inicio, se partió de la pregunta ¿Cómo diseñar una progresión de aprendizaje acerca de una idea central de las ciencias, donde se secuencien de manera coherente dentro y a través de los grados los elementos curriculares e instruccionales, con el fin de generar un aprendizaje por comprensión conceptual e integrada? Sobre la base de la investigación acerca del aprendizaje de los estudiantes en torno a un dominio específico, las dos iniciativas antes citadas coincidieron en que la secuencia de una progresión tiene que considerar dos aspectos fundamentales, a saber: a) el desarrollo y uso de la comprensión conceptual de los tópicos y 2) el desarrollo y uso de las prácticas científicas. Estas dos bases, son parte del soporte sobre el cual se ha construido la estructura de las progresiones de aprendizaje.

Es válido anotar que tanto el documento NRC (2005) como el NAGB (2008) representan el desarrollo y la experticia alcanzada en el campo de la evaluación del aprendizaje de tópicos específicos. Ambos, consideran lo que los estudiantes deben saber y hacer con ese conocimiento, además de la manera en la que lo aprenden. Así pues, sintetizan la investigación sobre la medición del aprendizaje y las dinámicas sociales y cognitivas que lo nutren. Sin embargo, hace falta más investigación que profundice el conocimiento sobre cómo diseñar ambientes de

aprendizaje que ayuden al estudiante a internalizar los nuevos conocimientos que surgen en el aula de ciencias. No obstante, desde la publicación de los dos estudios en consideración las progresiones de aprendizaje como método de investigación basado en el diseño, han tenido una gran acogida por la comunidad de investigadores sobre educación en ciencias (Duschl, 2011)

Como consecuencia de que el enfoque de la progresión de aprendizaje es relativamente novel no se ha logrado establecer una conceptualización común dentro del campo de la educación en ciencias. Por ello, existen diversas acepciones para dicho constructo, algunas de las cuales se representan enseguida:

Puede afirmarse, que la primera aproximación reconocida en la literatura especializada sobre la expresión Progresión de Aprendizaje, corresponde a Claesgens et al. (2002), quienes desarrollaron un proyecto para la educación secundaria denominado *Living by Chemistry*. Dicha propuesta, se enfocaba en “las grandes ideas” de la química para la medición del desarrollo individual del cambio conceptual a través del tiempo, y su marco se denominó *Perspectivas de los Químicos*. Su propósito, era brindar una estructura coherente para la evaluación, a partir de una serie de variables de progreso basadas en el currículum de ciencias y los documentos de los estándares.

Posteriormente, Wilson y Berenthal (NRC, 2006) definieron las LP como “descripciones sucesivamente más sofisticadas de formas de pensamiento acerca de una idea, la cual se encuentra en secuencia con otras, de acuerdo al proceso de aprendizaje de los estudiantes. Es decir, que cuando los aprendices dan significado verbal y plantean ejemplos de dichas ideas, consiguen avanzar hacia un nivel de comprensión de mayor experticia.” En el mismo año, Roseman et al. (2006), proponen que las LP son “secuencias de ideas” que van desde la básica primaria hasta finalizar la educación media.

Por su parte, Smith et al. (2006), definen las LP como descripciones de formas sucesivamente más sofisticadas de razonar dentro de los contenidos de cierto dominio, basado en la síntesis de la investigación y el análisis conceptual”.

Posteriormente, Duschl, Schweingruber y Shouse (NRC, 2007) proponen que Las HLP son “descripciones de formas sucesivamente más sofisticadas de pensamiento acerca de un tópico, el cual sigue después de otro de acuerdo al proceso de aprendizaje e investigación por parte de los estudiantes. Dicho proceso puede darse en periodos de tiempo tan extensos como seis u ocho años.”

Adicionalmente, Stevens, et al. (2007) definen las LP como “una secuencia estratégica que permite establecer subdivisiones de entre las ideas relacionadas

con los conceptos centrales de las ciencias, a la vez que promueve la interconexión entre las mismas.”

Por su parte en Flowers, et al. (2007) se plantea que las progresiones son “una descripción del avance de los estudiantes, quienes se mueven desde una visión generalizada de los tópicos, hacia un comprensión conceptual de los mismos”.

En Merrit, Krajcik y Shwartz (2008) consideran que las progresiones de aprendizaje son “ideas con un incremento en su nivel de sofisticación”, es decir, que avanzan desde un nivel de comprensión simple hacia otro de mayor complejidad.

Adicionalmente, Mohan, Chen y Anderson (2008) conciben las progresiones de aprendizaje como formas de pensamiento que siguen una de otra, avanzando hasta niveles más altos de sofisticación. Mientras que, Alonzo y Steedle (2009) las definen como “descripciones ordenadas de la comprensión de los estudiantes acerca de un concepto dado”.

A partir de los elementos antes mencionados, Salinas (2009) propone que “las LP son la descripción una serie de pasos usualmente consecutivos e interconectados, relativos al pensamiento de los estudiantes, así como sus habilidades y conocimiento, los cuales inician desde un nivel básico de comprensión, para avanzar hacia formas de pensamiento más sofisticadas. Éstas, son flexibles, están basadas en la investigación, y tienen lugar en un lapso definido y un contexto específico, así como dentro de un tópico o dominio determinado”.

Una definición frecuentemente referida entre la comunidad de profesores e investigadores sobre la educación en ciencias, propone que las progresiones de aprendizaje “pueden concebirse como ciclos estratégicamente desarrollados y secuencias de actividades instruccionales que orientan las rutas de aprendizaje de un tópico específico. Así, el cometido de la instrucción es involucrar a los aprendices en formas sucesivamente más sofisticadas de conocer y pensar acerca de las ideas, evidencias, competencias y/o prácticas científicas, que se hacen más amplias y profundas, en la medida en la que los estudiantes se mueven a lo largo de la progresión” (Duschl, 2011).

Finalmente, los diferentes puntos de vista sobre lo que representa el constructo de progresión de aprendizaje, han conducido al surgimiento de dos enfoques, los cuales recogen las principales tendencias de acuerdo con las preferencias de los educadores e investigadores en el campo de la educación en ciencias, como se ilustra a continuación.

2.1.2.1 Enfoques de las LP

La literatura especializada, establece que existen dos clases principales de progresión de aprendizaje, la de diseño escalonado y la de paisaje. Cada una, con sus particularidades que les permiten ser útiles para distintos propósitos.

El enfoque de tipo escalonado, posee un marcado carácter empírico y una naturaleza exploratoria, que compromete a los estudiantes con sus procesos de aprendizaje. En este sentido, dicho diseño da prioridad al contexto de las clases y al uso de la evidencia del aprendizaje para hacer el seguimiento de la progresión (ver figura 2.1.2.1). Entre sus componentes, se destaca la existencia de dos tipos de anclaje, uno inferior y otro superior, entre los cuales se hallan una serie de niveles intermedios a través de los cuales discurren en secuencia las grandes ideas, sin que por ello deba asociarse con un carácter lineal. Entre sus bondades, puede mencionarse que su estructura permite caracterizar mejor a los estudiantes, razón por la cual resulta pertinente para un estudio de ocho semanas, como es el propósito de la presente propuesta (Salinas, 2009).

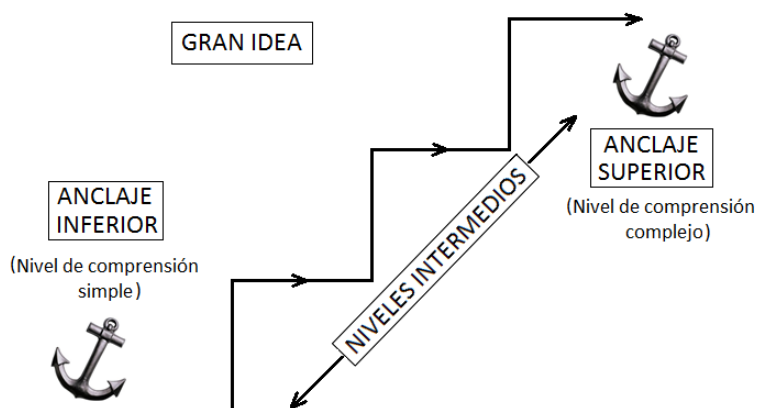


Figura 2.1.2.1 Representación visual de la progresión de aprendizaje de enfoque escalonado (traducido de: Salinas, 2009).

Por su parte, la perspectiva de tipo paisaje tiene su inicio desde la lógica de la progresión, para ser validada posteriormente con base en datos provenientes de los estudiantes (usando entrevistas, evaluaciones o bibliografía). Además, resalta que este enfoque resulta más útil para caracterizar una progresión en un aprendizaje de expectativa racional. Por dicha razón, este enfoque resulta apropiado para el diseño de progresiones que pueden prolongarse por varios años y cubrir distintas disciplinas (ver figura 2.1.2.2).

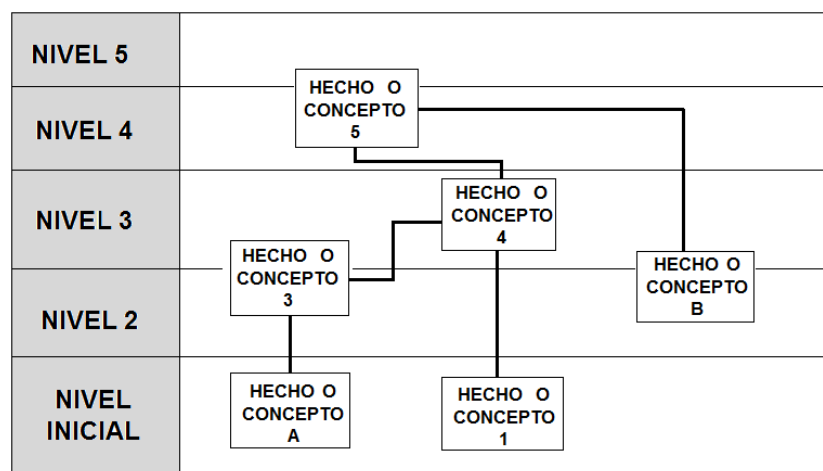


Figura 2.1.2.2 Representación del esquema de una HLP tipo paisaje (traducido de: Salinas, 2009).

De lo anterior, puede deducirse que las LP son una perspectiva de diseño centrada en la forma en la que los estudiantes aprenden. Es por ello, que se tienen en cuenta los procesos de desarrollo de los aprendices a través del tiempo, lo cual implica considerar una numerosa cantidad de elementos articulados y alineados de manera coherente, que serán mencionados seguidamente.

Debe aclararse, que para efectos del presente estudio, las intenciones de diseño se encaminan hacia un tipo de Progresión de Aprendizaje de tipo hipotético (HLP⁷).

2.1.3 Elementos que configuran el diseño de una progresión de aprendizaje

Después de revisar el origen y parte de la evolución de las Progresiones de Aprendizaje (LP), otro aspecto por destacar tiene que ver con sus componentes. En general, puede afirmarse que las progresiones de aprendizaje de tipo escalonado están estructuradas a partir de los siguientes elementos: 1) ideas centrales, 2) anclaje inferior, 3) anclaje superior, 4) niveles intermedios, 5) Estándares de contenido 6) estándares de indagación, 7) desempeños de aprendizaje y 8) metas de aprendizaje.

2.1.3.1 Las ideas centrales

⁷ Las Progresiones de Aprendizaje Hipotéticas (HLP) son propuestas de diseño que pueden ser sometidas a un proceso de validación empírica, con lo cual es posible refinar y ajustar su estructura. De esta manera, mediante un ciclo iterativo de rediseño-implementación-evaluación, a partir del cual se puede llegar a un estatus de mejoramiento continuo (Duschl, 2011)

También llamadas grandes ideas, tienen un amplio poder explicativo de los fenómenos naturales, y además permiten identificar la manera en la cual la disciplina se ha estructurado. Adicionalmente, constituyen bloques de conceptos que apoyan la construcción de otros conocimientos. Se destaca, que su selección se ha realizado bajo la lógica de la disciplina, teniendo en cuenta el currículo prescrito por el estado, con el apoyo de la investigación sobre educación en ciencias y disciplinas como la psicología. Adicionalmente, se hace necesario considerar dos aspectos esenciales como son los conocimientos básicos de los contenidos y las prácticas científicas (Duschl, 2011).

2.1.3.2 El anclaje inferior

Hace referencia a los conocimientos previos del estudiante al momento de dar inicio a la progresión. En este sentido, puede considerarse desde dos puntos de vista. Por un lado puede enfocarse en función de los saberes que los aprendices traen a la escuela en forma de observaciones del mundo natural o fenómenos cotidianos relacionados con las ciencias. Por otro lado, si se trata de una progresión desarrollada en una etapa intermedia de la escolaridad, se consideran los conocimientos prerrequisito para su inicio, relacionados con la misma.

Llevando lo anterior a la práctica, se debe tener en cuenta que el primer acercamiento de los aprendices a los distintos conceptos, debe darse desde el plano macroscópico. Esto significa, que la perspectiva que los estudiantes pueden tener de los distintos fenómenos, puede desde un principio tomar forma con base en fenómenos reales, los cuales proveen información clara y objetiva relacionada con las ideas centrales de la progresión. Para ello, resulta pertinente la realización de prácticas científicas o animaciones de los procesos (Duschl, 2011).

2.1.3.3 El anclaje superior

Representa las expectativas existentes sobre los conocimientos que el estudiante debe alcanzar al finalizar la progresión, es decir, lo que los aprendices deber saber y poder hacer con el conocimiento. En este sentido, guardan estrecha relación con las metas de aprendizaje, y constituyen un estado de mayor desarrollo en la percepción de las ciencias y las prácticas científicas que deben alcanzar los aprendices, de acuerdo con las expectativas de la sociedad para la alfabetización científica (Duschl, 2011).

Esto significa, que la capacidad de interpretación de los fenómenos que tendrán los estudiantes al finalizar su recorrido a través de las actividades de aprendizaje, deberá tener un nivel de sofisticación superior, comparado con el estado inicial de la progresión. Es decir, que su grado de comprensión conceptual será mayor en la medida en que ellos puedan hacer un uso apropiado de los principios científicos

que rigen los fenómenos. Dicha competencia, se podrá ver reflejada en la profundidad de sus explicaciones, la cual implica un discurso científico mejor elaborado y la identificación de la forma en la que cada proceso obedece a las leyes naturales.

2.1.3.4 Niveles intermedios

Son las metas de aprendizaje intermedias que se desarrollan entre el anclaje inferior y superior, las cuales están encarnadas en las diferentes actividades de aprendizaje que han sido secuenciadas de manera que representan los conceptos en una forma cada vez más compleja y menos andamiada.

En este sentido, los profesores implementan dichas actividades de aprendizaje para llevar a cabo la transición entre el anclaje inferior y el superior (Duschl, 2011). Es decir, la orientación que debe el maestro dar a sus estudiantes para que se siga una ruta en especial, entre muchas otras posibles, de manera que les permita acceder al conocimiento, para avanzar de manera gradual en la comprensión conceptual e integrada de las grandes ideas. En estas etapas, que de hecho forman la sección más prolongada de la progresión, los aprendices construyen conceptos nuevos y reconstruyen sus concepciones alternativas de manera secuencial y temporalizada. Como consecuencia, adquieren una manera de razonar entorno a las ideas centrales, progresivamente más sofisticada hasta llegar al anclaje superior.

2.1.3.5 Estándares de contenido

Los estándares como derrotero del sistema educativo que direcciona el currículum de educación en ciencias, responden a los intereses del estado acerca de lo que espera que los estudiantes, sepan, comprendan y estén en capacidad de hacer en los relativo a las ciencias naturales (Schmidt *et al.*, 2001). De allí, la importancia de que exista coherencia dentro y a lo largo de grados, algo con lo que cuentan los estándares de competencias colombianos (coherencia vertical y horizontal). Situación diferente, se da en naciones que tienen estándares nacionales, estatales y distritales, donde ha resultado más difícil su articulación o unificación (Duschl, 2011; Fortus & Krajcik, 2012; AAAS, 2013).

Los estándares tienen como base tres componentes que son: las ideas centrales de las disciplinas, los conceptos transversales, y las prácticas científicas.

☞ Las ideas centrales de las disciplinas son ideas significativas de amplia importancia en la disciplina, con la capacidad de explicar y generar ideas más especializadas

☞ Los conceptos transversales son aquellas ideas que están presentes en todas las disciplinas de las ciencias y que ayudan a mantenerlas unidas. Están representadas por patrones, relaciones causa efecto, energía, sistemas, escalas, estructura y función, además de estabilidad y cambio (Cooper, 2013).

☞ Las prácticas científicas, son el conocimiento procedimental a través del cual los estudiantes construyen y comunican las grandes ideas de la ciencia. Adicionalmente, le brindan la oportunidad al estudiante de visualizar la naturaleza de las ciencias. Entre ellas se destacan: la modelación, la organización y análisis de datos, la elaboración de explicaciones con base en la evidencia y el diseño de investigaciones (Schwartz 2008).

Por otro lado, en el contexto nacional los estándares de competencias establecen lo que las personas durante la niñez y la juventud debe saber y saber hacer en la escuela, además de la comprensión del mundo donde vivimos. Por eso, se busca que los estudiantes:

- Comprendan los conceptos y formas de proceder de las diferentes ciencias naturales (biología, física, química, astronomía y geografía) para entender el universo.
- Asuman compromisos personales a medida que avanzan en la comprensión de las ciencias naturales.
- Comprendan los conocimientos y métodos que usan los científicos naturales para buscar conocimientos y los compromisos que adquieren al hacerlo (MEN, 2004)

Un aspecto que destaca, es el hecho de que los estándares suministran una estructura que enfatiza en la comprensión profunda de un número menor y más central de conceptos fundamentales. Ahora bien, dichos estándares son punto de partida de las progresiones de aprendizaje, cuando toman la forma de grandes ideas de la ciencia. Para ello, deben pasar por un proceso a través del cual se separan, desempacan y clarifican. En este sentido, se consideran tres tipos de estándares, a saber: estándares de contenido, estándares de indagación y estándares de desempeño.

2.1.3.6 Los estándares de indagación

Buscan que los aprendices adquieran una combinación entre el conocimiento científico y los procedimientos necesarios para razonar de manera científica y crítica. Así pues, la ciencia se concibe como un proceso que permite a los estudiantes alcanzar habilidades tales como: la observación, la inferencia y la

experimentación. De este modo, es posible que ellos lleguen a poseer una comprensión conceptual e integrada de las ciencias, y adicionalmente desarrollen habilidades para la comprensión de la naturaleza de las mismas. Adicionalmente, conviene que valoren los logros alcanzados en la historia reciente, que adquieran la capacidad para investigar de forma independiente el mundo natural, y puedan usar las habilidades y actitudes asociadas con la ciencia.

Se puede observar entonces, que la perspectiva de la indagación, no solo es fundamental para la educación en ciencias, sino que también es un elemento de juicio para la selección y organización de las actividades de los estudiantes. Adicionalmente, los estándares de indagación brindan la capacidad para conducir investigaciones y comprender sobre la investigación en ciencias. En este sentido, mediante dicho recurso, los estudiantes de todos los grados tienen la oportunidad para desarrollar la habilidad de pensar y actuar en función de la indagación, es decir, formulando preguntas, planeando y conduciendo investigaciones, usando apropiadamente las técnicas de recolección de datos, pensando de manera lógica y crítica sobre las evidencias y las explicaciones, analizando explicaciones alternativas y comunicándose con argumentos científicos. (NAS-1996)

2.1.3.7 Desempeños de aprendizaje

Puede afirmarse, que los desempeños de aprendizaje son la manera en la cual se codifican las grandes ideas, para generar actividades de aprendizaje que den fe de los conocimientos alcanzados por los estudiantes, tanto sobre las grandes ideas como de las prácticas científicas. De esta manera, se puede evidenciar el nivel de razonamiento en torno a las actividades de aprendizaje, que se espera por parte de los aprendices, con relación a lo que estos deben estar en capacidad de hacer con el conocimiento científico.

Así pues, pueden concebirse como la amalgama entre el estándar de contenido y el estándar de indagación. Es decir, que no sólo especifican lo que los estudiantes deben estar en capacidad de hacer con su conocimiento, sino que además sirven de guía para que el profesor pueda evidenciar como los estudiantes están conceptualizando el estándar de contenido (Schwartz, 2008; Perkins, 1992).

En este sentido, la comunidad de educadores de profesores de la línea de investigación de progresiones de aprendizaje, han venido construyendo los estándares de desempeño que evalúan el nivel de aprendizaje de los estudiantes, a partir de la combinación del estándar de contenido con el estándar de indagación (Krajcik, McNeill & Reiser, 2008). De hecho, esta decisión de diseño está en coherencia con el presupuesto epistemológico que busca establecer un vínculo estrecho entre la idea central y una práctica científica (ver figura 2.1.3.1 y tabla 2.1.3.1).

Por otra parte, la investigación sobre las líneas ya mencionadas, puede utilizarse como base para la interpretación de las respuestas de los estudiantes. Es decir, que permite explicar su manera de razonar acerca de las grandes ideas y la LP. Dicha información, no solo muestra el nivel de acierto de los aprendices, sino que arroja luces sobre los aspectos a mejorar dentro de la estructura curricular (Smith, 2006; Lehrer & Schauble, 2012).

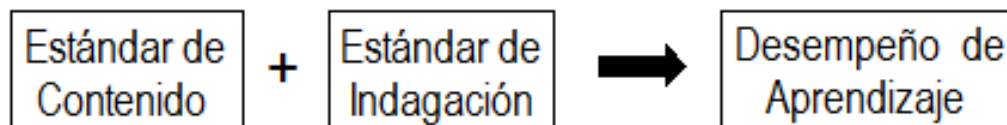


Figura 2.1.3.1 Relación entre los estándares y los desempeños de aprendizaje (traducido de: Schwartz, 2008).

Tabla 2.1.3.1 Ejemplo de la obtención de un desempeño de aprendizaje, al combinar un estándar de contenido con un estándar de indagación (Krajcik, McNeill & Reiser, 2007).

ESTANDAR DE CONTENIDO	ESTÁNDAR DE INDAGACIÓN	DESEMPEÑO DE APRENDIZAJE
Las sustancias reaccionan químicamente de forma característica con otras sustancias para formar nuevas sustancias con propiedades distintas. (NRC, 1996, B:1B/5-8)	Realice una descripción exacta de un concepto. (Habilidad básica-refuerzo)	LP11 Los estudiantes definen “reacción química” como un proceso en el cual dos o más sustancias interactúan para formar nuevas sustancias.

2.1.3.8 Metas de aprendizaje

Entre los principales objetivos de la educación en ciencias se encuentra el lograr una alfabetización científica para todos los ciudadanos. En otras palabras, se busca que las personas posean un mínimo de conocimientos acerca de la ciencia que les permita interpretar los fenómenos del mundo cotidiano desde una perspectiva cercana a la lógica de las ciencias naturales. En este sentido, las metas de aprendizaje representan la proficiencia esperada de los estudiantes después de realizar un recorrido a lo largo de las distintas disciplinas científicas. Dichas metas, direccionan su capacidad para razonar y comprender el mundo, lo cual es uno de los principales requerimientos para participar en la sociedad como ciudadanos científicamente alfabetizados (Duschl 2011).

Así pues, las metas de aprendizaje resumen las competencias fundamentales que cualquier persona necesita a la hora de aplicar la lógica de las ciencias en un

determinado contexto. Es por ello, que la base para su construcción parte de los estándares, y de su coherencia depende significativamente el éxito de la estructura curricular. Las siguientes, son las cuatro metas que se consideran como fundamentales (Duschl, 2007):

1. Saber usar e interpretar las explicaciones científicas del mundo natural
2. Generar y evaluar la evidencia científica y las explicaciones
3. Comprender la naturaleza y desarrollo del conocimiento científico
4. Participar productivamente en el discurso y las prácticas científicas

Finalmente, en unión de todos los demás elementos que configuran la LP, se articulan sobre una estructura coherente, propia de los estudios de diseño. Esto explica, el hecho de que tratándose de una propuesta novedosa, ha sido considerada una alternativa plausible dentro del diseño curricular. A continuación, se aborda un aspecto clave para las LP, como lo es el marco metodológico que le da sustento.

2.2 MARCOS TEÓRICOS DE NIVEL GENERAL QUE INFORMAN EL DISEÑO DE LA HLP PARA LA ENSEÑANZA DE LA ESTEQUIOMETRÍA

Estos marcos teóricos de nivel de grano grueso, fundamentan la progresión de aprendizaje de un tópico específico y poseen un carácter general. En este sentido, se trata de teorías de orden explicativo que buscan ilustrar la manera en la cual un sujeto aprende. Desde luego, la construcción de dichas teorías de dominio están informadas por bases de conocimiento como: teorías de aprendizaje; pedagogía general, pedagogía específica, entre otras.

2.2.1 Teorías del aprendizaje

Desde el siglo XX, los investigadores en el campo de la educación y la psicología educativa han planteado numerosas teorías para tratar de explicar la forma en la cual los individuos adquieren, organizan y emplean sus habilidades y conocimientos. Dichas teorías del aprendizaje, juegan un papel clave para el desarrollo de la investigación del diseño, ya que, éstas informan las diferentes intenciones de diseño de acuerdo a la naturaleza del problema de enseñanza. En este sentido, los psicólogos han clasificado éstas en la siguientes categorías: conductistas; constructiva social; constructivista sociocultural; constructivista cognitiva y modelo del procesamiento de la información. En este documento se presentan los elementos claves de las tres últimas.

2.2.1.1 Teorías constructivistas

No cabe duda sobre la influencia que las teorías constructivistas han tenido sobre la educación en ciencias desde el inicio de la década de los 80s. En este sentido, continúan siendo referentes para la educación en ciencias, ya que sobre sus bases se han construido diversos enfoques que hoy día siguen teniendo validez.

2.2.1.1.1 Perspectiva sociocultural de Vygotsky

Las ideas del constructivismo social forman parte de un conjunto de teorías que hacen énfasis en el rol del contexto social y cultural para el aprendizaje, incluyendo el papel que juegan los demás estudiantes. Muchas de estas teorías, se derivan de los trabajos de Vygotsky (1962 & 1978) y resaltan la importancia de la interacción social con el docente o un par más avanzado, como un medio para alcanzar logros a los cuales les resultaría más difícil acceder de manera individual.

Entre los principales aspectos que la pedagogía ha recogido de las teorías de Vygotsky, se encuentra el reconocimiento del papel del lenguaje dentro el espacio del aula como herramienta de interacción social, y el concepto de Zona de Desarrollo Proximal (ZDP). El primero, resulta de especial interés para el aprendizaje de la química, ya que los contenidos de los diferentes tópicos tal como se presentan en los textos escolares, en muchas ocasiones son ajenos a la cotidianidad de los aprendices, lo cual se convierte en la primera dificultad que ellos deben superar. El segundo, representa el potencial de desarrollo conceptual de los estudiantes en un área determinada, en función de la intervención acertada del profesor a cargo, ya que su orientación, permite que las ideas previas de los aprendices evolucionen hacia niveles de comprensión más sofisticadas. Dicho proceso de desarrollo, implica que la participación del docente sea cada vez menos directa, para que los estudiantes adquieran progresivamente más independencia.

Paralelamente, apoyado sobre la perspectiva sociocultural, surge el concepto de andamiaje (Hodson & Hodson, 1998a, 1998b), el cual se refiere a todas aquellas acciones que debe realizar el docente para ayudar a los estudiantes a alcanzar un aprendizaje por comprensión conceptual e integrada de los distintos tópicos de las ciencias naturales y que sirven de apoyo temporal, hasta tanto el estudiante logre desarrollar las competencias de manera independiente. Dentro de las acciones que debe emprender el docente en el proceso de andamiaje, se pueden considerar aquellas de tipo verbal, encaminadas a elevar el nivel de comprensión de los estudiantes. Es decir, que sin importar el nivel en el cual cada estudiante se encuentre, el profesor debe intervenir apropiadamente para ayudar a los aprendices a progresar desde lo que ya conocen, hacia las metas de aprendizaje.

Resulta claro que el proceso de andamiaje, recae en manos del docente. Dicho proceso, implica establecer una serie de estructuras de modo temporal, si se quiere, que servirán de apoyo al estudiante mientras éste adquiere los elementos conceptuales que le permitirán ganar autonomía. De este modo, alcanzando el nivel de desarrollo esperado, la estructura del andamiaje podrá eliminarse paulatinamente hasta que los aprendices puedan estar en capacidad de conducirse de manera independiente.

2.2.1.1.2 Teoría constructivista cognitiva

Desde la perspectiva piagetiana, dentro de los procesos mentales existen tres esquemas conceptuales relacionados con el aprendizaje de la química. Se trata de (a) la discontinuidad de la materia, (b) la conservación de propiedades no observables y (c) la cuantificación. Estos por un lado, se encuentran relacionados con las operaciones formales (Inhelder & Piaget, 1955) y por otro, se asocian con las concepciones específicas de los estudiantes sobre la química, resultando lógica su vinculación directa con gran parte de las dificultades y concepciones alternativas que aparecen durante su estudio. Dichos núcleos, constituyen un eje común del cual se derivan otras muchas nociones más específicas que permiten visualizar y jerarquizar las dificultades para la comprensión de esta área de la ciencia por parte de los estudiantes así como las conexiones entre distintos conceptos, razones por las cuales deben tenerse en cuenta para el diseño curricular en química dirigido a la educación básica y media (Pozo *et al.*, 1992).

La importancia de estos tres núcleos conceptuales, radica en que son la base para la construcción de los conceptos y leyes que dan estructura a la química. La primera de ellas, la noción de discontinuidad de la materia, es fundamental para comprender la materia y sus propiedades. La segunda, la conservación, es necesaria para comprender las transformaciones de la materia, los cambios físicos y químicos. Finalmente la cuantificación de relaciones, se refiere a la representación cuantitativa de las leyes fisicoquímicas y a su aplicación práctica. Estos tres aspectos, aparecen reiteradamente en los distintos tópicos de la química, de manera directa o indirecta. De allí, que deba dárseles la atención suficiente, apuntando hacia la comprensión conceptual e integrada de las principales ideas de la química por parte de los aprendices.

Para el propósito de la presente investigación, son de especial interés el esquema de la conservación y la cuantificación, ya que se relacionan directamente con la estequiometría. Sobre el primero de estos aspectos, puede afirmarse que las conservaciones observables son el producto característico de las operaciones concretas, mientras que la conservación de las propiedades no observables y la

cuantificación, requieren del desarrollo de las operaciones formales. Sobre éstos dos últimos, conviene ampliar un poco.

Conservación de propiedades no observables

Para los estudiantes, es necesario comprender este dominio ya que les permite explicar muchos de los procesos relacionados con cambios en la materia. Sin importar si dichos fenómenos son de tipo físico o químico, el concepto de conservación ayuda a entender aquello que ocurre tanto a nivel macroscópico como submicroscópico y está íntimamente relacionado con la noción de discontinuidad de la materia. De allí, que pueda considerarse como un paso hacia la comprensión de la conservación de las propiedades de la materia.

Debido a la percepción visual, puede ser menos complicado para los aprendices identificar el concepto de conservación en los fenómenos físicos comparado con los químicos. Esto, debido a que en los cambios físicos que sufre la materia como transiciones de fase, o disolución, se conservan las sustancias que intervienen, manteniéndose su identidad y su estructura a nivel molecular o atómico, con la característica adicional de ser completamente reversibles. Por otra parte, en los cambios químicos las reacciones dan lugar a productos con estructura molecular diferente, y aunque el número de partículas permanece constante, la idea de conservación de la identidad de la sustancias no es tan obvia, a pesar de la posible reversibilidad de algunos procesos (Pozo, J.I., Gómez, M.A. y Sanz A., 1992).

Cuantificación

La cuantificación es uno de los esquemas fundamentales para el aprendizaje de la química, ya que a través de éste los químicos establecen diferentes relaciones cuantitativas entre las variables que representan las propiedades de un fenómeno natural. Desde luego, que dichas relaciones tienen como propósito central el de producir modelos matemáticos que permiten explicar y predecir eventos, razón por la cual es un aspecto central para los cálculos estequiométricos.

Ahora bien, esta clase de representaciones cuantitativas de leyes físico-químicas y su aplicación práctica, ha sido reconocida por la comunidad de educadores en ciencias como uno de las grandes dificultades para la comprensión de los tópicos de la química cuantitativa (Gabel, 1998). Así pues, el tema de la cuantificación de las leyes químicas constituye una de las partes de estas ciencias, que probablemente más dificultades presenta para los estudiantes.

Dentro de las relaciones cuantitativas que se establecen entre las variables que describen un fenómeno natural, merece especial atención para el aprendizaje de

la química cuantitativa el razonamiento proporcional. Éste, se encuentra muy relacionado con uno de los grandes esquemas formales estudiados por Inhelder y Piaget (1955), que supone el conocimiento de la relación de igualdad entre dos razones, exigiendo conocer que un cambio en un miembro de la proporción se puede compensar con un cambio en el otro miembro sin que cambie la igualdad entre ambas razones.

Por otro lado, dada la relación con la enseñanza de la estequiometría, conviene tener en cuenta algunas limitaciones que la literatura basada en la investigación ha documentado acerca del aprendizaje de dicho tópico por parte de los estudiantes:

- Coordinar las relaciones obtenidas en moles con las relaciones entre subíndices y coeficientes de las fórmulas (Anamuah-Mensah, 1986).
- Diferenciar las relaciones estequiométricas en una reacción, cuando se establecen a partir de los moles de cada compuesto y las relaciones entre sus masas o entre relación molar y relación de volúmenes (Schmidt, 1984, 1990).
- Tendencia a establecer relaciones estequiométricas 1:1 independientemente de lo que indiquen los coeficientes de la ecuación química (Frazer & Servant, 1987).

Interacción sistémica

Este esquema fundamental dentro de la teoría piagetiana, aborda una situación muy frecuente entre los estudiantes, relacionado con la tendencia a simplificar las situaciones complejas con el fin de darles sentido y controlar éstas de manera rápida. Es decir, que es frecuente encontrar la tendencia en los aprendices a buscar relaciones causales, lineales de un solo sentido, lo cual limita la comprensión de la mayoría de las teorías científicas, que requieren enfocar los procesos en función de la interacción de varios sistemas.

En efecto, Andersson (1986), afirma que apoyándose en el enfoque de la teoría causal de la Gestalt, los profesores de ciencias deberían diseñar los ambientes de aprendizaje que les brinden la posibilidad a los estudiantes de desarrollar principios fundamentales para las relaciones causales. De hecho, éstos subyacen a los diversos modelos teóricos que configuran el conocimiento sustantivo de dichas disciplinas. Por ejemplo, los estudiantes deben desarrollar durante su aprendizaje de las ciencias los siguientes dos principios:

- a) Que la relación causa-efecto no se de en un solo sentido, sino que implique una relación recíproca, donde ambos sistemas interactúan modificándose mutuamente.

- b) Que la relación implique no sólo una causa sino la interacción entre varias causas que se coordinan para producir un efecto dado.

Los investigadores de la línea de las concepciones alternativas tomaron como punto de apoyo a la psicología cognitiva, la cual aborda entre uno de sus puntos las relaciones de causa-efecto, con el fin de estudiar las concepciones intuitivas con las que llegan los estudiantes al aprendizaje de la estequiometría. Así pues, dichos estudios han generados una serie de resultados donde se declara que los estudiantes en general recurren a cinco formas principales para explicar las reacciones químicas:

- Es como si...
- Desplazamiento
- Modificación
- Transmutación
- Interacción química

Por consiguiente, las anteriores concepciones alternativas resultan ser un factor limitante para interpretar el fenómeno de la estequiometría, tanto a nivel macroscópico como submicroscópico, ya que, dicha comprensión conceptual requiere de los estudiantes la implementación del esquema de la interacción sistémica donde se debe considerar la interacción entre distintas variables. En este sentido, el diseño de la enseñanza de la estequiometría debe tomar en cuenta dichos elementos con el fin de asistir al estudiante en el desarrollo de una profunda comprensión del tópico en cuestión.

2.2.1.2 Teoría del Procesamiento de la Información

En tiempos recientes, esta teoría ha sido un referente para los investigadores y educadores del campo de las ciencias. En términos generales, puede afirmarse que fue construida a partir de una analogía plausible entre el esquema operativo de un computador y el cerebro humano, con la diferencia de que en las personas median los intereses y experiencias previas como elementos de control (Flavell, 1985).

Esta propuesta establecida sobre los fundamentos de la psicología cognoscitiva, se apoya en el hecho de que la información que permanece en la memoria de largo plazo determina de manera definitiva el proceso de percepción, según lo establece la teoría Gestalt (Koffka, 1933), y lo reafirma Ausubel (1978) cuando resalta la importancia de los conocimientos que el estudiante posee para los procesos de aprendizaje. A partir de estos elementos, surge el modelo del procesamiento de la información (Johnstone, 2006) quien incluyó aspectos como la percepción, almacenamiento a largo plazo y recuperación de información.

En términos generales, el modelo plantea que los estímulos externos tales como las experiencias de aula, son percibidos y filtrados por los sentidos para su posterior procesamiento. Para esta primera etapa, el estudiante presta atención a aquello que le es familiar, estimulante, interesante, sorprendente o excitante, es decir, que usa estos criterios para seleccionar la información que será procesada. No obstante, el control del proceso de filtración recae principalmente en lo que ya existe en su memoria de largo plazo. Esto implica, que algo no resultará familiar, interesante o sorprendente, hasta haber sido comparado con experiencias o expectativas previas.

La información que ingresa a través del filtro, es entonces procesada en la mente consciente o Espacio de Memoria de Trabajo. Este espacio, tiene dos funciones, una es almacenar temporalmente la información y la otra es hacer uso de la información hasta que tenga sentido. Una vez hecho esto, es posible emitir una respuesta y/o almacenarla en la memoria de largo plazo (ver fig. 2.2.1).

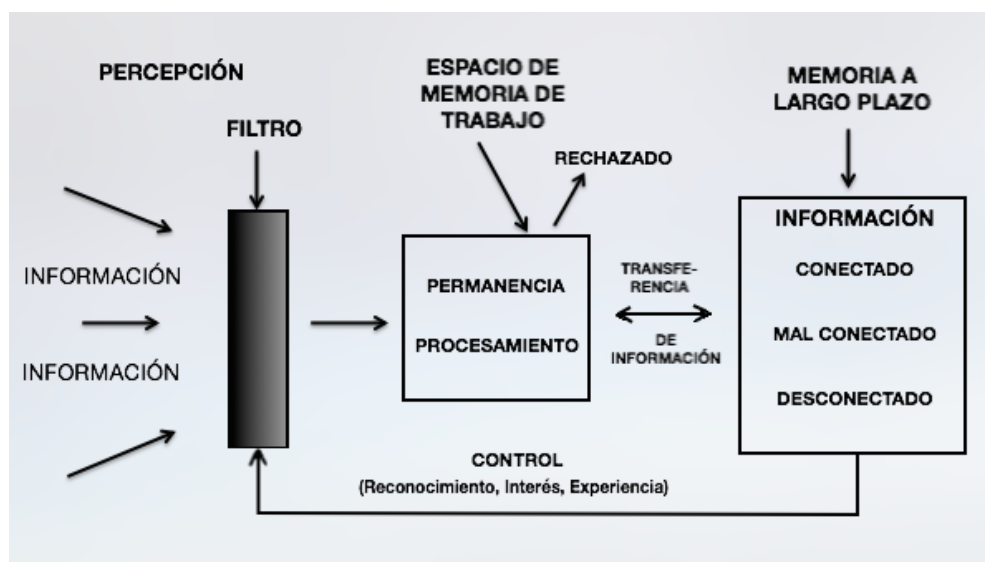


Figura 2.2.1. Modelo del procesamiento de la información
(traducido de Johnstone, 2006)

Para darle sentido a la nueva información, es necesario relacionarla con aquello que ya se encuentra en la memoria de largo plazo. En caso de lograrse una síntesis entre ambas, la información resultante podrá ser almacenada en ésta última. Puede ocurrir, que también se guarde información no deseada, lo cual dará lugar a la aparición de concepciones alternativas. Tal situación, podría generar dificultades para la conceptualización posteriormente, no obstante, el actual

propósito es conseguir una correcta asociación de la información para que así lo aprendido sea más accesible y útil (Johnstone, 2006).

2.2.2 PEDAGOGÍA GENERAL

La pedagogía general es considerada como una herramienta que le permite al maestro para gestionar un ambiente de aprendizaje, por encima de otros factores como las condiciones específicas de recursos para el aprendizaje, por solo mencionar uno entre muchos.

Ahora bien, para la comunidad de educadores e investigadores sobre la educación en ciencias, la pedagogía es el conjunto de estrategias instruccionales y formas discursivas que pueden ser usadas para ayudar a los estudiantes en sus procesos de aprendizaje. En este sentido, cuando dichas estrategias se usan en un contexto específico y para un tópico en particular, la pedagogía general se transforma en el conocimiento pedagógico del contenido (CPC), como un rasgo distintivo del profesor para la enseñanza de dicho tópico (Shulman, 1987).

Por otra parte, conviene considerar que la pedagogía general contempla dos aspectos esenciales. El primero, busca que las estrategias instruccionales seleccionadas estén alineadas con los contenidos y metas de aprendizaje, lo cual resulta fundamental para el diseño de materiales de enseñanza. En el segundo, se plantea que dichas estrategias deben reflejarse en el discurso del maestro durante la clase, con el fin de andamiar el proceso de aprendizaje de un tópico específico. Como resultado, tanto la selección de estrategias pedagógicas como los principios de diseño instruccionales⁸ permiten generar actividades de aprendizaje que secuenciadas y temporalizadas configuran los materiales curriculares que apoyan la construcción conceptual del currículum de ciencias (Abell, Appleton & Hanuscin, 2010). De allí, la importancia de que los docentes cuenten con un balanceado equilibrio entre elementos clave como son: administración y gestión de la clase; lenguaje y discurso; y modelos de enseñanza (Moriner-Dershimer & Kent, 1999).

Con base en lo anterior, a continuación se hace mención de algunos de los principales recursos de la pedagogía general que pueden ser de gran utilidad para el desarrollo de la progresión de aprendizaje en la práctica, como son las técnicas, estrategias y modelos de enseñanza.

⁸ En este documento se asume que los principios de diseño son aquellos elementos epistémicos que le dan la estructura lógica a los materiales instruccionales de un tópico específico. Por ejemplo, metas de la enseñanza del tópico específico, concepciones alternativas, estrategias y modelos de enseñanza, conocimiento de los productos y procesos de las ciencias, formas de representar y formular los tópicos, actividades de aprendizaje y conocimiento del contexto.

2.2.2.1 Técnicas, estrategias y modelos de enseñanza

Para lograr que los procesos de aprendizaje resulten efectivos, debe tenerse en cuenta la naturaleza del tema y las metas de aprendizaje para tomar la decisión de centrar las actividades de aprendizaje bien sean en el estudiante, en el docente o en el contenido. Complementariamente, se debe contar con herramientas que permitan a los aprendices avanzar hacia formas más sofisticadas de pensamiento. Seguidamente, se describen de manera breve algunas técnicas y estrategias de enseñanza que pueden ser de gran utilidad para cumplir con el anterior propósito.

Rutinas

Para los investigadores en educación en ciencias, las rutinas son una serie de comportamientos del maestro, que forman parte de un conjunto muy amplio de herramientas pedagógicas inherentes a las prácticas de aula. En este sentido, éstas forman parte del acervo cultural de cada contexto y tienden a pasar desapercibidas (Abell, 2010). No obstante, conviene que el diseñador instruccional haga consciente su uso a lo largo del proceso iterativo del diseño de una progresión de aprendizaje.

Algunas de las rutinas que pueden considerarse para el trabajo en el aula son: orientar de las sillas en el aula, levantar la mano para contestar, organizarse en grupos de trabajo y realizar procesos de negociación en el aula.

2.2.2.1.1 Técnicas

Una técnica forma parte del andamiaje de una lección completa pensada para orientar el aprendizaje de los estudiantes. En este sentido, las técnicas y las estrategias son dos acciones de enseñanza muy similares. Las técnicas, tienden a llevarse a cabo con toda suerte de sujetos, entre ellas se incluyen los cuestionamientos que invitan a la reflexión. Es de destacar, que aunque la técnica parezca una actividad sencilla, puede en realidad tratarse de algo mucho más complejo que cuenta con una base epistemológica estructurada. Así pues, en el caso de las preguntas, éstas pueden incluir muchas facetas, bien sea que se trate de preguntas abiertas o cerradas, debe además considerarse su distribución en el espacio de la clase y el tiempo de espera.

2.2.2.1.2 Estrategias de enseñanza

Dentro de los recursos con los que debe contar el maestro para el desarrollo de una lección, las estrategias de enseñanza son solo uno de los muchos componentes que hacen parte de dicho conglomerado. Es decir, que el docente al hacer uso de su criterio para optar por la mejor alternativa, puede tomar decisiones acerca de la pertinencia de su aplicación para orientar el trabajo de los

estudiantes, buscando que ellos alcancen un aprendizaje por comprensión conceptual e integrada de la gran idea de la estequiometría.

Puede afirmarse entonces, que las dichas estrategias son las múltiples acciones de enseñanza que el docente puede emplear con el fin de orientar los procesos de aprendizaje entorno a un tema específico. Propiamente, las estrategias son una mezcla de rutinas y técnicas. Entre ellas, algunas pueden emplearse en distintas temáticas, pero que usualmente funcionan mejor para un tópico en particular. Puesta en acción, una estrategia de enseñanza puede extenderse por toda una sesión de trabajo, aunque eventualmente puede abarcar hasta dos o tres. Entre las estrategias más conocidas, se pueden mencionar: La investigación, la KWH (por las palabras en inglés Know, Want & How), el estudio de caso, y el POE. Ésta última, se destaca por su pertinencia para la enseñanza de las ciencias y será explicada más ampliamente a continuación (Abell, 2010).

A continuación, se describe de manera breve el POE, como ejemplo de estrategia para el trabajo en el aula que será tenida en cuenta durante el desarrollo de la progresión de aprendizaje.

POE (predecir-observar-explicar)

El POE, es una bien conocida estrategia constituida por cuatro componentes a saber: enfoque, predecir, observar y explicar. Puede ubicarse dentro de una lección, a menos que ésta sea tan extensa que se requiera de una adicional.

Enfoque

Este elemento facilita la introducción del tópico, sirve como motivador y a la vez permite mantener la atención de los estudiantes. Adicionalmente, establece las condiciones para el siguiente segmento. En términos prácticos, implica que los estudiantes tengan presente las posibles relaciones con conocimientos o experiencias previas. De no ser posible, los aprendices en lugar de predecir los eventos sucesivos habrán de suponerlos. Resulta pertinente para ésta dinámica, la realización de prácticas científicas o demostraciones por parte del docente.

Predecir

En una lección de ciencias, el docente puede invitar a los estudiantes a predecir lo que ocurriría si alguna variable de un determinado evento es modificada. Así pues, si se trata de una situación bien conocida por los estudiantes, dicha tarea resultará

sencilla, por tanto el docente puede ir más allá, indagando acerca de las razones que justifican tales predicciones.

Observar

El ejercicio de observar, implica la recolección de información objetiva durante la actividad de aprendizaje. Es decir, que los estudiantes deben enfocarse en aquellos detalles relacionados con el fenómeno que se predijo anteriormente, tomando atenta nota de estos. Seguidamente, bajo la orientación del docente los aprendices tendrán la oportunidad para compartirlos con el resto del grupo.

Explicar

Finalmente, se invita a los estudiantes a explicar lo ocurrido y justificar el por qué, con especial atención a la alineación entre sus predicciones y sus observaciones. Las Explicaciones pueden ser compartidas con el resto de la clase, pero es preferible que la actividad se realice en parejas (Abell, 2010).

Como puede inferirse, existen ventajas que los estudiantes y maestros pueden obtener empleando el POE como estrategia pedagógica. Entre ellas, destaca el hecho de avanzar en la comprensión conceptual de los fenómenos puestos en escena y progresar en el desarrollo de las competencias básicas. Algo similar, ocurre con el ciclo de aprendizaje, como se ilustra a continuación.

2.2.2.1.3 Modelos de enseñanza

Cuando el maestro realiza el diseño para la enseñanza de una unidad temática, debe seleccionar las herramientas pedagógicas que mejor se adapten para conseguir que sus estudiantes alcancen un aprendizaje por comprensión conceptual en integrada del tópico. En este sentido, los modelos de enseñanza son una secuencia de estrategias de enseñanza, técnicas y rutinas, diseñadas para brindar a los estudiantes el andamiaje que necesitan para el aprendizaje de un tópico específico. Así pues, son una mezcla compleja de elementos que forman parte del conocimiento pedagógico del contenido del maestro, quien debe poseer elementos de juicio suficientes para seleccionar el modelo que mejor se adapte a una situación de aprendizaje en particular, la cual puede extenderse por seis u ocho semanas.

Ahora bien, existe una amplia variedad de modelos que pueden tener éxito en la enseñanza de un tópico específico, entre las cuales puede haber opciones validadas por la comunidad de educadores e investigadores sobre educación en ciencias. Sin embargo, sería ideal que el propio docente en ejercicio pudiese desarrollar el modelo que supla las necesidades de unos estudiantes singulares, para un entorno en especial. En este sentido, el Ciclo de Aprendizaje (abordado

más ampliamente en la sección 2.5.2.3) cuyas fases son: exploración, invención y descubrimiento, es un referente del cual se han derivado otros modelos (Karplus & Thier, 1967). Por ejemplo, el modelo de las 5E el cual resulta pertinente para la enseñanza de la gran idea de la estequiometría, y que se resume a continuación.

Modelo de las 5E

Como ya se comentaba anteriormente, este modelo tiene su origen en el ciclo de aprendizaje, desarrollado a partir del “*Estudio para el Mejoramiento del Currículum de Ciencias*” (Bybee, 1997, [ver figura 2.2.2.1]). Su nombre, obedece a la primera letra de las cinco palabras clave relacionadas con el andamiaje de las unidades, a saber: Comprometer (Engage), Explorar, Explicar, Elaborar y Evaluar (Abell, 2010).



Figura 2.2.2.1. Modelo de las 5E (traducido de: Bybee, 1997)

Comprometer: hace referencia a captar el interés del estudiante sobre las actividades de aprendizaje, lo cual puede lograrse mediante actividades de tipo práctico, bien sea realizadas por el estudiante o demostraciones hechas por el docente. Éstas además, deben permitir que el aprendiz relacione los nuevos conocimientos con sus experiencias de aprendizaje previas.

Explorar: en esta etapa se capta el interés de los estudiantes a través de la realización de investigaciones por parte de ellos mismos. Como consecuencia, logran familiarizarse con los materiales asociados con el tópico y el concepto en desarrollo, tienen la oportunidad de comparar y asociar sus experiencias previas discutiéndolas con sus pares y con su profesor. Adicionalmente, pueden apoyarse en la literatura disponible en forma física o virtual, buscando la comprensión de los conceptos.

Explicar: este paso busca que los estudiantes profundicen en su comprensión del concepto en desarrollo con la ayuda del docente, quien debe relacionar las ideas y ayudar a visualizar la perspectiva de las ciencias. Como es lógico, el profesor debe mencionar y ampliar los temas fundamentales pero debe dar la oportunidad de que los estudiantes compartan sus apreciaciones.

Elaborar: este paso pretende que los estudiantes vayan más allá con el desarrollo de su comprensión conceptual de la ciencia. Esto significa, que deben resolver problemas que requieran la aplicación de sus nuevos conocimientos, o realizar nuevos trabajos de investigación donde los conceptos deban aplicarse en diferentes situaciones. Aquí, la interacción con sus compañeros contribuye a la comprensión más profunda de las ideas, cuando debe explicarlas y justificarlas.

Evaluar: este segmento del proceso debe recoger no solo el ejercicio individual del estudiante cuando debe hacer uso de su conocimiento en nuevos contextos, sino el producto de su trabajo en grupo y la interacción con el docente, en términos de lo significativo de la retroalimentación para el progreso del aprendizaje. En esta instancia, la evaluación sumativa resulta pertinente buscando que tenga un carácter integral.

2.3 TEORÍAS INTERMEDIAS

A partir de la revisión de la literatura existente sobre las LP, se ha logrado determinar que las principales teorías que les han dado origen son: El modelo de reconstrucción educativa, los experimentos de enseñanza y la teoría de la mente-desarrollo metacognitivo (Duschl, 2011). Adicionalmente, hay un componente fundamental que tiene que ver con y la perspectiva de Vygotsky y Bajtín sobre el lenguaje que también serán tenidas en cuenta.

2.3.1 Del concepto de didaktiks al modelo de reconstrucción educativa

Es sabido que el campo de la educación en ciencias se caracteriza por ser multidisciplinar, es decir, que los presupuestos teóricos que la fundamentan tienen su origen en la interacción de disciplinas como: las ciencias naturales; la pedagogía, la epistemología e historia; la lingüística y la sociología (Duit, 2007). En este sentido, el marco teórico que subyace a la línea de investigación de las progresiones de aprendizaje de un tópico específico proviene de la sinergia entre los fundamentos epistémicos de los cinco dominios de indagación, a saber: 1) didaktiks y los experimentos de enseñanza, 2) teoría de la mente y desarrollo metacognitivo, 3) investigación sobre cambio conceptual, 4) pedagogía y 5)

trayectorias de aprendizaje. Así, éstos se abordan en la siguiente sección de manera breve.

2.3.1.1 Didaktiks

Una mirada retrospectiva sobre el origen del término, deja ver que finalizando el siglo XIX en las culturas germana y nórdica, la tradición de Didaktik se estableció durante el surgimiento de su sistema educativo. Este contaba, con una planeación centralizada, la cual direccionaba el diseño, la implementación y la evaluación de los ambientes de aprendizaje sobre tópicos específicos a nivel local. Aquí, es posible identificar tres elementos esenciales en la fundamentación de Didaktiks: orden, secuencia y selección, términos muy relacionados con aspectos del pensamiento contemporáneo desde la perspectiva de los estándares y las progresiones de aprendizaje. Es decir, que éstas últimas son consideradas por la comunidad de educadores de profesores como herramientas integradoras del diseño de un currículo coherente. Focalizado en la secuenciación de las ideas centrales y prácticas científicas dentro y a través de los grados (Hopmann, 2007).

❖ *Orden*

Desde la época de la antigua cultura grecorromana el término Didaktik ha formado parte de la evolución de los procesos educativos. Su desarrollo, se da como un enfoque que busca explicar la enseñanza desde el orden en el que los contenidos son enseñados, así como los estilos y el significado de la instrucción y el aprendizaje aplicados a tal propósito. Más adelante, en la edad media con el desarrollo escolar, Didaktik se transformó en un cuerpo coherente de conocimiento por si mismo, tal fue el caso de la teoría de la enseñanza y el aprendizaje de Hugh of Saint Victor (1120), quien determinó tres tipos de disciplina como eje de cualquier modo de Didaktik: (a) la disciplina como orden de conocimiento, (b) la disciplina para enseñar ordenadamente y (c) la disciplina como prerrequisito para facilitar el aprendizaje por parte de los estudiantes. Por otro lado, Didaktik en el sentido escolástico de la enseñanza del orden del conocimiento (summa), tiene relación con la introducción de los estudiantes hacia sus conceptos y estructuras (Hopmann, 2007).

❖ *Secuencia*

Durante el siglo XVI, en tiempos de la Reforma y Contrarreforma, continuó el surgimiento de Didaktik como línea de pensamiento, dada su utilidad en aspectos como la enseñanza del catecismo. Dicho fenómeno, fue reforzado por el desarrollo de un marco de referencia para la reflexión sobre la enseñanza, publicado por Comenio en su obra: Didáctica Magna (1627), en la cual Didaktik tiene como

propósito lograr que los profesores participasen menos y que los estudiantes aprendiesen más. Ésta perspectiva, que retoma un poco a Sócrates, gira en torno a la manera en que la enseñanza puede contribuir a mejorar el aprendizaje, limitando su intervención para inspirar y promover un progreso sólido del estudiante.

El marco teórico establecido por Comenio acerca del constructo de la Didaktik, posteriormente se convirtió en el punto de referencia de otros eruditos para construir nuevas acepciones del elemento en cuestión. Se destaca, que los marcos teóricos de los diferentes modos de Didaktik que direccionaron el diseño de la enseñanza en esa época, se fundamentan en una continuidad inherente que va desde el microcosmos del estudiante hasta el macrocosmos del mundo, permitiendo una secuencia natural del aprendizaje, que le brinda la oportunidad a los estudiantes de ir de lo cercano a lo lejano, de lo simple a lo complejo y de lo concreto a lo abstracto. Finalmente, la enseñanza de una disciplina orientada desde la perspectiva de la Didaktik va más allá de la secuenciación y temporalización de los contenidos, apuntando hacia una postura donde el conjunto de actividades de aprendizaje le dan la posibilidad a los estudiantes de alcanzar un desarrollo individual y social (Hopmann, 2007).

❖ Selección

Para realizar la selección de los contenidos del conocimiento universal que deben enseñarse, pueden emplearse diversos criterios. En el caso del gobierno escolar de Prusia, la estrategia aplicada a principios del siglo XIX consistía en cambiar mediante leyes escolares y ordenanzas, todo lo relacionado con los formadores y los contenidos hasta conseguir la separación de los syllabus, los cuales contenían en líneas gruesas lo que se debe impartir y lo que no, en las escuelas de la época. Dicha división, condujo al desarrollo de los lineamientos curriculares desde el nivel estatal, dejando en manos de los maestros la planeación de las clases, a lo que se llamó “libertad pedagógica”. Es decir, que en dicha postura el profesor lleva a cabo dos tipo de transformación, una directa y otra indirecta. En la primera, a partir de su sistema de conocimientos, creencias y valores, selecciona los contenidos que en su criterio puede beneficiar más al estudiante. En la indirecta, una vez el maestro ha escogido las ideas centrales de la ciencia, realiza un proceso de transformación y representación para comunicarlas a través del proceso de enseñanza.

Con este antecedente, el marco teórico de la Didaktik se convirtió en la principal herramienta que les permite a los diseñadores de ambientes de aprendizaje conectar la planeación estatal con el diseño, la implementación y evaluación de la enseñanza de forma contextualizada. No obstante, la pérdida de independencia de

los maestros para la selección de tópicos y métodos de enseñanza que se dio avanzando el siglo XIX, cediendo ante el control del estado. Finalizando ese siglo, se logró recuperar el protagonismo de la Didaktik como referente para la escogencia de los contenidos del currículo.

Con base en lo anterior, es claro que el término didaktiks no debe ser traducido como didáctica, ya que el origen y significado de ambos términos es diferente. Didaktiks, es un constructo que se originó en la tradición de investigación germana sobre la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. En este sentido, dentro de éste se entretajan cuatro aspectos: (1) las relaciones entre profesores y estudiantes (el quién); (2) las actividades instruccionales (el cómo); (3) el tema o contenido (el qué) acerca del estudio junto con las prácticas pedagógicas; y (4) el análisis del currículo. De hecho, las relaciones causales que se establecen entre los anteriores aspectos vienen direccionadas por elementos como: a) el concepto de Bildung, b) el conocimiento de la disciplina y su significado educativo; y c) el concepto de autonomía de enseñanza (Hopmann, 2007). Se destaca que éstos se encuentran alineados con los términos de orden, secuencia y selección.

- *Bildung.*

El término Bildung es un elemento clave en la conceptualización de didaktiks, dado que, éste adiciona al constructo en cuestión el proceso de la formación integral del ser humano (Duit, 2012), es decir, que en esta perspectiva los tópicos del currículum de las ciencias no son un fin en sí mismo, sino un medio para lograr la socialización de los individuos. En efecto, Bildung es considerado como eje del diseño de ambientes de aprendizaje, por parte de los educadores de profesores quienes han venido desarrollando en la última década la línea de investigación de las progresiones de aprendizaje de tópicos específicos (LP). Dado que, la LP es un artefacto curricular que brinda la oportunidad a los estudiantes de recorrer una ruta de formación integral a través de la interacción entre disciplinas como: ciencias naturales, pedagogía, psicología, filosofía e historia. En palabras de Hopmann (2007, p 115)

“El propósito de la enseñanza y la escuela es el uso del conocimiento como una herramienta transformadora para el desarrollo de la individualidad y la sociabilidad, es decir, la formación de los estudiantes mediante la enseñanza”

- *El conocimiento de la disciplina y su significado educativo*

En el diseño de la enseñanza de un tópico específico el maestro ajusta el currículo prescripto a los antecedentes socioculturales de los estudiantes. Para ello, toma decisiones curriculares e instruccionales que tienen en cuenta el contenido, la

enseñanza y el aprendizaje, fundamentándose en la epistemología de la disciplina, la psicología y la didaktiks. Por tanto, él transforma el currículo prescrito en un currículo diseñado e implementado, generando una serie de actividades de aprendizaje cuyo fin central reside en brindar la oportunidad a los estudiantes de alcanzar una socialización de manera integral. En palabras de Hopmann (1998) un contenido puede tener diferentes significados educativos, así como un cierto significado puede representar distintos conceptos, pero con seguridad, no puede haber un concepto sin significado educativo.

La disciplina y su significado educativo, ha tenido varias tendencias, entre ellas resaltan las tradiciones de investigación, europea y angloamericana. Respecto a la primera, puede decirse que en las disciplinas científicas se incluye un componente humanista centrado en el estudiante, de modo que las estrategias pedagógicas se hallan firmemente articuladas con cada una de ellas. Así pues, se observa un didaktiks de la física, la química, la biología, etc. los cuales poseen elementos disciplinares comunes, sobre los cuales se elabora la propuesta de enseñanza-aprendizaje. Por su parte, en la tradición angloamericana los educadores de profesores quienes orientan la Didaktik en las universidades, se posicionan desde los departamentos de ciencias experimentales, razón por la cual, ellos focalizan el diseño de los ambientes de aprendizaje sobre la epistemología y estructura disciplinar, descuidando los principios psicológicos (Lijnse, 1995).

En tiempos más recientes, la nueva generación de profesores ha comenzado a considerar las dimensiones cognitiva y sociocultural del aprendizaje como aspectos críticos que direccionan la Didaktiks (Klette, (2007). Este cambio epistémico se ha generado por la fuerte influencia ejercida por los marcos teóricos de tópicos como: cambio conceptual (Treagust & Duit, 2008) y Modelo de Reconstrucción Educativa (MER), (Duit *et al.*, 2005). Éste último, contempla tres dominios de investigación: a) investigación dentro de las perspectivas de los estudiantes, b) clarificación y análisis del tema de los contenidos y c) diseño de ambientes de aprendizaje (figura 2.3.1). Dicho programa, derivado de la tradición germana de Didaktik y la cultura pedagógica, ofrece un marco conceptual para la investigación en educación, ya sea de tipo teórico, básico o aplicado, como se ilustrará en un apartado posterior.

- *Autonomía*

Para el profesor resulta muy complejo separar su sistema de conocimientos, creencias y valores de la toma de decisiones curriculares e instruccionales que direccionan su actuar en el aula. Sin embargo, independientemente de la forma de pensar o los principios con que él asuma la tarea de diseñar, implementar y evaluar la enseñanza de un tópico específico, a la hora de tomar dichas

decisiones resulta clave que tome en cuenta los presupuestos que fundan el currículum oficial, sin que ello signifique renunciar a la libertad que tiene dentro de sus límites. En este sentido, el estilo escogido por el profesor para representar los diferentes tópicos de las ciencias, requiere de un criterio atinado que tenga en cuenta los antecedentes socioculturales de los estudiantes, de modo que, cumpla a cabalidad con las expectativas que recaen sobre su rol como educador.

Ahora bien, en las últimas décadas se ha comenzado a considerar en el campo de la educación en ciencias que el profesor como diseñador de ambientes de aprendizaje posee una autonomía, la cual puede hacerse extensiva a sus estudiantes. Desde luego, que ésta autonomía enmarcada desde la perspectiva de la Didaktiks toma en cuenta tres factores claves para el proceso de enculturación de los estudiantes: la disciplina, la psicología y la didáctica, es decir, que el profesor durante el diseño de la enseñanza de un tópico específico debe de tratar de alcanzar un equilibrio entre lo que debe enseñar (la disciplina) y la forma más apropiada de hacerlo (el estudiante).

Con base en lo anterior, puede afirmarse que la Didaktiks se encuentra en el esfuerzo por lograr que el currículum prescrito pueda convertirse en currículum planeado, enseñado y evaluado, aun sabiendo que puede haber una diferencia entre lo que aprenden los estudiantes y lo que ha pretendido enseñar el maestro. Esta ambigüedad, es un resultado poco deseable del proceso de enseñanza, de hecho, es uno de los síntomas de la falta de coherencia entre la planeación del currículum, la enseñanza y la evaluación (Hopmann, 2007).

Tomando como referencia los anteriores presupuestos en los últimos años en el contexto germano se ha construido el modelo de enseñanza conocido como Reconstrucción Educativa, cuyo marco teórico sustenta el diseño, la implementación y evaluación de ambientes de aprendizaje en la gran mayoría de escuelas alemanas (Hopmann, 2007). Así pues, en el siguiente apartado se abordan de manera sucinta los principales elementos que sustentan dicho modelo de enseñanza.

2.3.1.2 Modelo de Reconstrucción Educativa

La comunidad de investigadores en el campo de la educación en ciencias, ha reconocido en el Modelo de Reconstrucción Educativa (MER) un marco para la investigación y el desarrollo sobre educación en ciencias, así como una guía para la planeación de la instrucción y la práctica en la escuela. Su valor estriba, en que facilitan la selección, secuenciación y temporalización de los contenidos educativos buscando entre ellos un equilibrio encaminado a mejorar los procesos de comprensión y aprendizaje de tópicos específicos de las ciencias. Este aporte,

contribuye en la superación de la brecha existente entre la investigación sobre educación en ciencias y la práctica educativa en dicho campo.

El modelo MER tiene como propósito central el de realizar una transposición didáctica de los contenidos de la disciplina *per se*, para volverlos enseñables a unos estudiantes singulares. Dicha transformación, permite que el conocimiento de un dominio específico resulte apropiado para la instrucción escolar, requisito indispensable si se pretende alcanzar las expectativas actuales de la educación en ciencias que es la de lograr una ciudadanía científicamente alfabetizada.

El Modelo de Reconstrucción Educativa está sustentado en tres componentes interrelacionados (ver figura 2.3.1.2.1), cuya interacción se traduce en la estructuración del contenido disciplinar con el propósito de ser enseñado en un contexto particular, a saber: Clarificación y análisis del contenido de la ciencia; investigación sobre la enseñanza y el aprendizaje y, diseño y evaluación de los ambientes de aprendizaje.

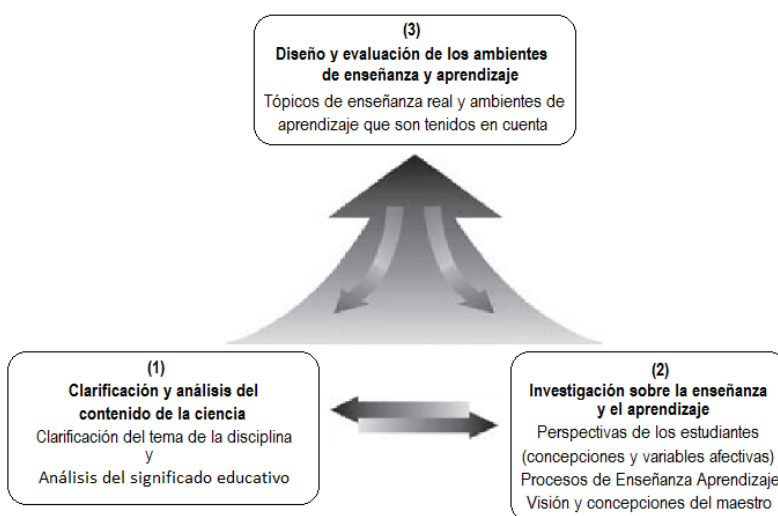


Figura 2.3.1.2.1. Los tres componentes del Modelo de Reconstrucción Educativa (MER, [traducido de: Duit, 2012]).

- *Clarificación y análisis del contenido de la ciencia*

En esta etapa se debe hacer claridad sobre las concepciones específicas de la ciencia y la estructura del contenido desde el punto de vista educativo. Aquí se incluyen dos procesos muy relacionados que son: (a) la clarificación y análisis de los tópicos de la disciplina y (b) el análisis de su significado educativo. El primer proceso, tiene que ver con el lenguaje utilizado en los libros de texto para comunicar el conocimiento científico, muchas veces inaccesible para los

estudiantes, por ser presentado de una manera abstracta y condensada, situación que se agrava, cuando se emplean términos, polisémicos al comparar el campo científico y el mundo cotidiano, puesto que da lugar al surgimiento de concepciones alternativas en los estudiantes. Por otro lado, el uso de la terminología apropiada, permite que los aprendices adquieran una nueva visión de la ciencia, así como un conocimiento más profundo de los contenidos clarificados (Duit, Komorek & Wilbers, 1997).

En cuanto al análisis del significado educativo, debe anotarse que se considera uno de los puntos clave de la reconstrucción educativa. Su esencia queda resumida en la expresión: *“cierta estructura del contenido de la ciencia ha de ser transformada en una estructura de contenido para la instrucción”* (Duit, 2012 pp. 22). Para conseguir dicho objetivo, deben realizarse dos procesos, el primero es la elementalización y el segundo la construcción del contenido para la instrucción (figura 2.3.1.2.2.).

La elementalización no busca simplificar ni hacer una reducción de la estructura del contenido de las ciencias, usualmente apoyado en teorías de gran complejidad. Más bien su propósito es lograr un contacto a profundidad entre los estudiantes y el dominio científico que se desea desarrollar. Para ello, resulta muy útil realizar una síntesis del tema, que tenga en cuenta la edad y los conocimientos prerrequisito de los estudiantes. Lo anterior sumado a la apropiada contextualización en distintos escenarios, permitiría detectar y superar las dificultades de los estudiantes para conseguir el aprendizaje de tópicos específicos. Como resultado, se debe llegar a un balance entre las ideas centrales de la ciencia expresadas correctamente desde la disciplina y un modo de representarlas y comunicarlas con el fin de hacerlas accesibles a los estudiantes (Duit, 2012).

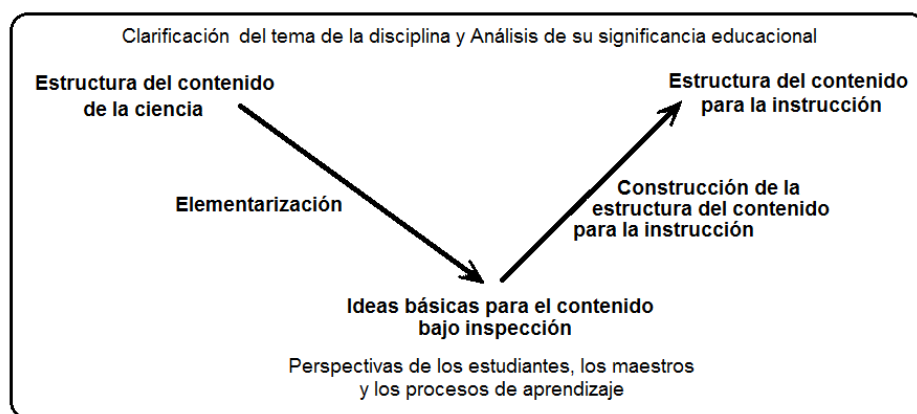


Figura 2.3.1.2.2., pasos para diseñar la estructura del contenido para la instrucción (traducido de: Duit, 2012)

- *Investigación sobre la enseñanza y el aprendizaje*

Las líneas de investigación sobre la enseñanza y el aprendizaje son consideradas algunas de las más prometedoras en el campo de la educación en ciencias. De hecho, existen numerosas publicaciones que abordan problemáticas focalizadas en ámbitos tales como: evaluación; gestión de la clase; programas de educación del profesor; metodologías y los métodos instruccionales; además, los diseños de ambientes de aprendizaje. Respecto a éste último tópico, no solamente deben considerarse los componentes asociados con las disciplinas científicas y los fenómenos propios de la interacción entre los individuos que forman parte de la comunidad educativa, también deben tenerse en cuenta algunos elementos desde la perspectiva de los estudiantes, como son las variables afectivas. Entre ellas pueden mencionarse: su sistema de creencias y valores, las concepciones preinstruccionales, los intereses particulares, el auto concepto y las actitudes, los cuales en alguna medida pueden afectar los procesos del aula. Estos componentes de orden contextual, si bien son ajenos al aspecto disciplinar, tienen influencia en el desempeño de los estudiantes tanto en su cotidianidad escolar como en las pruebas estandarizadas y deben ser tenidas en cuenta por parte del maestro (Abell 2009).

- *Diseño y Evaluación de Ambientes de Enseñanza*

El diseño, la implementación y evaluación de ambientes de aprendizaje de temas específicos ha motivado un creciente interés por parte de los educadores de profesores e investigadores de la educación en los últimos años. Se sabe, que a este ámbito de investigación lo fundan tres elementos, a saber: la epistemología disciplinar, la psicología y la didáctica, cuyo cuerpo de conocimiento direcciona el diseño, la secuenciación y temporalización de las diferentes actividades de aprendizaje que configuran el artefacto curricular.

Una de las características de los estudios basados en el diseño es su fundamentación en la literatura proveniente de la investigación, la cual es el resultado del interés por darle solución a la serie de problemas sobre cómo mejorar el aprendizaje de los estudiantes de los diferentes contenidos de una disciplina. Adicionalmente, en estos estudios de diseño el conocimiento del contexto y los antecedentes socioculturales de los estudiantes juegan un papel clave, dado que, éstos permiten visualizar sus necesidades e intereses. Finalmente, por su carácter incluyente también consideran a quienes tienen necesidades educativas especiales, permitiéndoles mejorar su auto-concepto y cambiar sus actitudes (Duit, 2012).

Relación entre el modelo MER y las Progresiones de Aprendizaje

El marco teórico que subyace al Modelo de Reconstrucción Educativa ha sido tomado como punto de referencia por varios estudios de investigación cuya tarea principal se ha centrado en el diseño, la implementación y la evaluación de una progresión de aprendizaje de un tópico específico. En este sentido, se puede ver una estrecha relación entre el modelo MER y las progresiones de aprendizaje, situación que los lleva a tener puntos en común, tales como: el constructivismo orientado al mejoramiento de los ambientes de enseñanza; el desarrollo de teorías que orientan los contenidos, procesos de investigación y desarrollo acerca de recursos para la enseñanza-aprendizaje; y el mejoramiento de las prácticas instruccionales. Puede afirmarse por tanto, que el MER suministra un marco de referencia para los principales componentes de la investigación desarrollo sobre educación en ciencias.

Tanto las LP como el MER se caracterizan por evolucionar a través de procesos cíclicos iterativos que contribuyen al mejoramiento continuo sobre temas como: la reflexión teórica, el análisis conceptual, el desarrollo curricular a pequeña escala y la investigación en el aula acerca de la interacción entre los procesos de enseñanza-aprendizaje. Cabe anotar, que el aspecto central que identifica a los dos enfoques en discusión, tiene que ver con las características de la estructura lógica de las ciencias y las rutas de aprendizaje de los estudiantes, bajo una perspectiva de largo plazo (Duit, 2012).

En conclusión el modelo MER suministra una serie de herramientas epistémicas que el maestro puede utilizar en beneficio de sus estudiantes, ya que, su estructura se encuentra robustecida gracias a los aportes de la investigación sobre la educación en ciencias, la psicología educativa, la historia de las ciencias, la filosofía, la pedagogía y la epistemología, entre otras áreas. De esta manera, surgen constructos como los experimentos de enseñanza, los cuales será abordas en la siguiente sección.

2.3.2 Los Experimentos de Enseñanza

Estos constituyen el fundamento de los estudios de diseño, así como del Modelo de Reconstrucción Educativa (MER), toda vez que son un tipo de intervención que busca comprender la manera en la que los estudiantes relacionan los conceptos centrales de las ciencias con situaciones problemáticas propias de la vida cotidiana, las cuales recogen los tópicos específicos. Entre los principales logros de los experimentos de enseñanza, resaltan el desarrollo de la capacidad de abstracción y argumentación que surgen como fruto del compromiso de los aprendices en las actividades escolares. Desde luego, esta perspectiva de enseñanza les brinda la oportunidad de lograr un aprendizaje por comprensión conceptual e integrada de los temas de las ciencias dentro y a través de los grados (Von Aufschnaiter, *et al.*,

2008). La figura 2.3.2, ilustra el esquema cíclico de un experimento de enseñanza en el cual los estudiantes reunidos en grupos de dos o tres integrantes, se enfrentan a un fenómeno o situación problemática, en torno al cual deben razonar empleando una heurística que ha sido formulada por ellos para marcar y remarcar la situación en cuestión con el propósito de construir la solución más ajustada al contexto (Von Aufschnaiter & Rogge, 2010). Así, los estudiantes son estimulados a razonar y pensar en voz alta sobre los elementos que están configurando el problema. Esta clase de actividades, además de poseer un alto valor como herramienta pedagógica, resulta ser de gran importancia para el diseño del currículo y la instrucción (Lijnse 1995).

El esquema del ciclo didáctico de los experimentos de enseñanza busca que los aprendices avancen desde un entendimiento no conceptual (exploración) pasando por la utilización de algunos conceptos simples para describir un fenómeno natural (intuitivo basado en la regla) y, finalizado en una comprensión conceptual e integrada donde establecen relaciones de causalidad (explícito basado en la regla). Para los estudiantes quienes no poseen experiencias previas sobre el tema abordado, la primera etapa sería la de exploración del fenómeno que constituye el tema de estudio, pero en caso contrario, el punto de inicio del ciclo sería la etapa dos (intuitivo basado en la regla). En la fase exploratoria, el estudiante debe describir sus observaciones a partir de sus propios conocimientos.

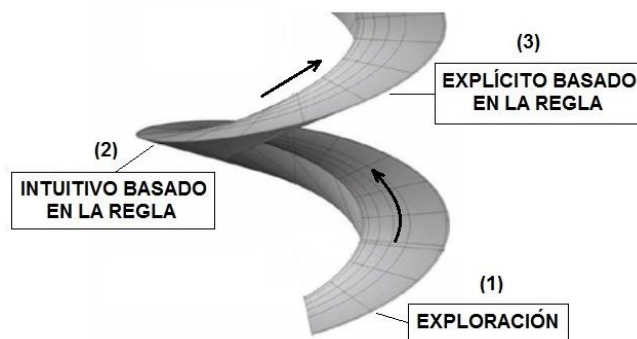


Figura 2.3.2. Ciclo didáctico de los experimentos de enseñanza
(traducido de: Von Aufschnaiter, 2010)

Es común encontrar, que en la etapa dos, donde los estudiantes carecen de una comprensión conceptual e integrada sobre el tópico particular, se les pueda dificultar expresar sus puntos de vista en forma apropiada. En el nivel tres, se deben conocer las leyes que gobiernan el fenómeno de estudio (las reglas), condición indispensable para que sea posible establecer un referente desde la perspectiva de las ciencias sobre el tema de estudio y así poder avanzar hacia la comprensión conceptual e integrada del tópico específico. Adicionalmente, en dicha etapa los estudiantes deben estar en capacidad de expresar de manera

explícita sus generalizaciones para explicar situaciones, lo cual les permite afianzar sus avances al darse cuenta de que se hallan en el camino correcto, para lo que conviene re-explorar a través del contacto con los fenómenos y mediante la resolución de problemas (Von Aufschnaiter, 2010).

Después de observar el alcance de los experimentos de enseñanza, queda más claro el modo en el que la Didaktik busca superar algunas limitaciones del constructivismo cognitivo individual, como son el hecho de no considerar los conocimientos previos de los estudiantes, o el restar importancia a sus procesos de autoformación. De allí que, en las últimas décadas haya emergido en el campo de la educación en ciencias la metodología de investigación basada en el diseño, la cual buscan contribuir a los procesos de mejoramiento del aprendizaje, mediante la elaboración meticulosa de actividades para la enseñanza.

Como ejemplo es válido mencionar la propuesta hipotética para el diseño tales tareas, basada en el paradigma de *Investigación para el Desarrollo*, la cual ofrece dos principales ventajas, por una parte representa una forma coherente de mejorar la enseñanza de las ciencias y por otra permite avanzar hacia una teoría de la didáctica. Dicho enfoque, comprende un proceso cíclico cuyas etapas son: reflexión teórica, análisis conceptual, desarrollo curricular a pequeña escala e investigación en el aula sobre la interacción de los procesos de enseñanza. Como producto, se obtiene una estructura didáctica factible para el trabajo en el aula sobre un tópico específico, fundamentada sobre una base empírica. Dicho sea de paso, estos aspectos en buena parte se relacionan con el Modelo de Reconstrucción Educativa (Lijnse, 1995).

2.3.3 Teoría de la Mente y Desarrollo Metacognitivo

Para el modelo de reconstrucción educativa el conocimiento del aprendiz y del aprendizaje juega un papel clave, ya que, éste ayuda a informar el proceso de la elementalización y la estructuración del contenido para la instrucción (Duit, 2012). Así pues, dicho conocimiento direcciona la toma de decisiones curriculares e instruccionales sobre un tópico específico. Adicionalmente, le permite al profesor ajustar la serie de actividades de aprendizaje a la zona de desarrollo proximal de los estudiantes particulares.

De ahí que, una teoría enfocada en la comprensión de la mente del estudiante resulte fundamental para establecer las bases de los procesos de razonamiento y acciones inteligentes para darle sentido al mundo de la vida. Por ello, resalta la importancia de que el diseñador de ambientes de aprendizaje sobre temas específicos, relacione el desarrollo de la teoría de la mente con la capacidad que debe adquirir el estudiante para modelar los eventos de la naturaleza, utilizando

un lenguaje formal que se acerque de manera progresiva a los diferentes modelos teóricos de las ciencias (NRC, 2007).

En este sentido, en el campo de la educación en ciencias se encuentra un amplio conocimiento acerca del desarrollo cognitivo de los estudiantes, donde se puede ver la forma como un sujeto aprende y los procesos de intervención más efectivos para que éste alcance sus expectativas. Desde luego, que dichos conocimientos apoyan al profesor para diseñar actividades de aprendizaje que le permiten al estudiante de reconocer patrones en el mundo natural con el fin de relacionarlos con los conceptos científicos. Sobre esta base, se espera que los estudiantes puedan construir explicaciones sobre fenómenos naturales y realizar procesos de razonamiento sobre ideas abstractas, que resulten productivas y significativas (NRC, 2007).

A partir de los anteriores presupuestos, se asume que el propósito de la educación en ciencias debe ser, comprometer a los estudiantes en alcanzar formas de razonamiento sucesivamente más sofisticadas para conocer y pensar acerca de las ideas, evidencias, afirmaciones y prácticas científicas que configuran las disciplinas de las ciencias (Duschl, 2011). En este sentido, las LP son un enfoque que permite organizar y alinear de manera coherente el currículum de las ciencias dentro y a través de los grados, brindándoles la oportunidad a los estudiantes de alcanzar un aprendizaje por comprensión conceptual junto con un desarrollo cognitivo y sociocultural. Dando así respuesta a las preguntas sobre el origen de los procesos de razonamiento y el aprendizaje, así como de las condiciones que pueden dar lugar a un cambio productivo en la estructura cognitiva del estudiante.

Ahora bien, las progresiones de aprendizaje han comenzado a ser considerados por los educadores de profesores artefactos curriculares cuya tarea central es la de andamiar el desarrollo de los esquemas de razonamiento de los estudiantes. Para ello, la estructura lógica de LP está determinada por ideas generadoras y centrales, así, las primeras, se refieren a tópicos de gran amplitud que asisten el crecimiento y desarrollo de los estudiantes en términos de comprensión conceptual e integrada. Respecto a las ideas centrales, tienen como fin el de comprometer a los estudiantes en la construcción y refinamiento del marco teórico que explica y acompaña las prácticas científicas (Duschl, 2011).

Finalmente, la selección, secuenciación y temporalización de las ideas generadoras y las centrales de la LP se lleva a cabo teniendo en cuenta el nivel de accesibilidad de éstas para los estudiantes. De hecho, a este criterio lo configuran los siguientes aspectos: a) capacidad de los aprendices desde edades tempranas, para realizar razonamientos sofisticados en algunos dominios de la ciencia, b) relación edad/grado de escolaridad en la cual debe iniciar la LP y c)

establecimiento empírico del anclaje inferior (ideas prerrequisito) a partir del cual se desarrollan las grandes ideas (Duschl, 2011).

2.3.4 Desarrollo del lenguaje

Desde hace varias décadas, la comunidad de educadores e investigadores en el campo de la educación en ciencias ha reconocido la importancia del componente comunicativo en su relación sinérgica con el desarrollo cognitivo del individuo. Entre las fuentes que más se destacan, se encuentran Vygotsky y Bajtín, cuyos trabajos se remontan a la primera mitad del siglo XX, pero que solo unas décadas después ha sido reconocido globalmente. A continuación, se esbozan algunos de los aspectos más relevantes de ambos puntos de vista.

2.3.4.1 Desde la perspectiva de Vygotsky

A pesar de haber sido ampliamente reconocida la relación entre el pensamiento y el lenguaje, hoy día continúa siendo considerado un problema de gran complejidad en el campo de la psicología experimental. Por su parte, en su obra *Pensamiento y Lenguaje* (1962), Vygotsky profundiza sobre el tema ofreciendo elementos de gran valor en el ámbito educativo. Sobre éste tenor, a continuación se sintetizan, algunas de sus ideas principales.

La teoría de Vygotsky, se ocupa tanto del desarrollo de la inteligencia del sujeto como de la psiquis y su origen. Para ello, considera todas las funciones y capacidades del ser humano como el resultado de dos procesos, uno es el producto evolutivo de la especie humana (filogenético) y otro desde el individuo mismo (ontogenético). Para el caso específico del desarrollo del lenguaje, se toman en cuenta tres elementos fundamentales como son: Lenguaje interiorizado, significado y palabra.

En cuanto al primero de estos componentes, puede afirmarse que para Vygotsky la teoría genética⁹ del lenguaje interiorizado del niño constituye la única explicación plausible de la relación entre pensamiento y lenguaje. En este sentido, el autor denomina *internalización* a la transición desde el plano externo o intermental hacia el plano interno o intramental, de algunos aspectos en la estructura de la actividad psicológica del individuo. Propiamente, se hace referencia a las funciones psicológicas superiores, marco donde puede situarse el desarrollo del lenguaje (Vygotsky, 1962).

Así pues, la internalización del lenguaje se constituye como una herramienta cultural de gran relevancia, dada su relación con el pensamiento, cuya evolución

⁹ Al referirse al término genético, Vygotsky hace alusión al origen, y de ninguna manera al carácter biológico que se asocia con el ADN. De hecho, su tendencia era opuesta a “biologizar” la psicología como si lo hacían otros psicólogos como Pavlov o Watson (Lucci, 2006)

pasa por varios estadios. Inicialmente, desde el punto de vista ontogenético, el pensamiento y el lenguaje provienen de distintas raíces, y puede afirmarse que en el desarrollo del habla del niño existe una etapa preintelectual, y en su desarrollo intelectual una etapa prelingüística. Dichas etapas, hasta un cierto momento del desarrollo siguen líneas separadas e independientes entre sí, pero en un momento determinado logran encontrarse, de modo que el pensamiento se torna verbal y el lenguaje se hace racional (Vygotsky, 1962).

Por su parte en el aprendizaje de las palabras, el proceso de la adquisición y crecimiento del significado, puede explicarse mediante el concepto de la unidad "palabra-significado". Dicho concepto, es más que una simple asociación entre estímulos verbales y objetos, que puede crecer posteriormente por oposición. Se destaca, que el pensamiento no está formado por unidades separadas como lo está el lenguaje, de allí que la transición de pensamiento a la palabra conduzca al significado.

Como puede observarse, existe una relación entre el pensamiento y la palabra que conduce a una percepción particular de la realidad. Dicha relación, es de suma importancia, ya que de ella depende la naturaleza de la conciencia humana.

Finalmente, en lo referente al desarrollo filogenético de los conceptos, resulta válido considerar que durante cierta etapa de la niñez, se tiende a pensar en pseudo-conceptos. Para designarlos, los niños emplean palabras que permiten referir una suerte de complejos de objetos concretos. La importancia del pensamiento en concretos, es reconocida como la base del desarrollo lingüístico.

2.3.4.2 Desarrollo del lenguaje desde la perspectiva de Bajtín

Sobre la base de lo descrito anteriormente, puede reconocerse la importancia del trabajo colaborativo como estrategia pedagógica para contribuir al proceso de formación de los estudiantes. En este sentido, resulta válido incluir entre de sus fortalezas aspectos clave como el respeto a la diferencia en el ritmo de aprendizaje, así como el progreso individual en las distintas habilidades. Así pues, cobra sentido el apoyo mutuo entre los aprendices como recurso para facilitar el aprendizaje de conceptos complejos, lo cual se refleja en la evolución de su capacidad comunicativa, cuando avanzan desde el uso de un lenguaje social cotidiano hacia un lenguaje social científico.

En los últimos años, se han reconocido los aportes de Bajtín a la pedagogía, entre otras razones, porque refuerzan la validez del trabajo colaborativo como estrategia para enriquecer las prácticas de aula, al considerar la diversidad de la población estudiantil. En este sentido, Bajtín emplea el término *internalización* para describir el proceso mediante el cual el estudiante incorpora en el plano individual (intrapsicológico) aquello que previamente ha sido parte de la interacción con sus

pares (interpsicológico). De esta manera, cuando los aprendices se enfrentan a una situación problema, tienen la oportunidad de apropiarse del nuevo conocimiento por un camino que le brinda una ruta más accesible, y que de otra manera podría quizás resultar infranqueable (Bajtín, 1986). Cuando dicho proceso ocurre, los estudiantes que apoyan a sus compañeros refuerzan su estructura conceptual, y quienes escuchan la perspectiva de sus pares encuentran una alternativa para elaborar su propia construcción.

En lo relativo al uso del lenguaje, es sabido que la química posee un gran número de vocablos que son propios de la disciplina, los cuales no constituyen parte de las voces coloquiales de los estudiantes. En este sentido, para que los aprendices avancen hacia la adquisición de un lenguaje social científico, cobran importancia dos conceptos desde la perspectiva de Bajtín. Uno de ellos, es el de *agencialidad*, el cual propone que cuando el docente habla, el contenido de sus palabras solo puede encontrar eco en sus estudiantes, cuando sus conocimientos son suficientes para alcanzar un mínimo nivel de interlocución. El segundo es el de *otredad*, el cual es un principio que permite organizar la estructura del discurso de un individuo y fundamenta la construcción de intersubjetividad, es decir, el proceso de comprensión mutua entre quienes establecen un proceso dialógico, aspecto que sin duda, resulta clave en el contexto educativo.

Como puede entenderse, el elemento comunicativo dentro del aula de clase juega un papel protagónico, y no puede desestimarse su valor dentro de la interacción maestro/estudiante o aprendiz/aprendiz. Así pues, en busca de lograr un aprendizaje por comprensión conceptual e integrada de la gran idea de la estequiometría, debe permanecer latente la importancia de mantener un lenguaje común que se anticipe al surgimiento de concepciones alternativas en los estudiantes.

2.4 HERRAMIENTAS DE DISEÑO

Las herramientas de diseño en este estudio son conceptualizadas como marcos teóricos que provienen tanto de teorías de tamaño de grano grueso como fino, es decir, dichos marcos se configuran a partir de la interacción de cuerpos de conocimientos como: teorías del aprendizaje; teorías curriculares; conocimientos de la educación en química; pedagogía general, concepciones alternativas de la estequiometría, entre otras. Por tanto, estos marcos teóricos se convierten en uno de los principales instrumentos que asisten al diseñador instruccional a lo largo de la toma de decisiones de diseño, en otras palabras informan la toma de decisiones curriculares e instruccionales.

En este sentido, para el diseño de ambientes de aprendizaje del currículum de la química se ha adoptado como herramientas de diseño a los siguientes cuerpos de conocimiento: ciclo de aprendizaje; diferenciación e integración de los niveles de representación de la química; y la relación sinérgica entre la estequiometría, los esquemas conceptuales y las prácticas científicas.

2.4.1 Ciclo de Aprendizaje

El Ciclo de Aprendizaje, ha sido ampliamente reconocido en el campo de la educación en ciencias por sus ventajas en el diseño de materiales curriculares, y las prácticas pedagógicas, entre muchas otras. De hecho, se considera de gran importancia para el presente estudio sobre el diseño de la Progresión de Aprendizaje Hipotética, ya que por su versatilidad como herramienta de diseño permite elaborar una propuesta coherente para la enseñanza de la estequiometría. En este sentido, es posible materializar un vasto cuerpo de conocimientos sobre la enseñanza y el aprendizaje de perspectiva constructivista, en una hipótesis de enseñanza plausible, dando lugar a que el pensamiento de los aprendices evolucione hacia formas más sofisticadas, al avanzar a través de las fases del ciclo.

El modelo del ciclo de aprendizaje tuvo su origen en la segunda mitad del siglo XX, en la era de reformas curriculares norteamericanas¹⁰, explorando la forma en la que los niños razonan y explican los fenómenos naturales. Sobre dicha base, iniciando la década de 1960 surgió una propuesta de diseño instruccional como resultado de relacionar los siguientes tres elementos: (a) las etapas de desarrollo de Piaget, (b) el diseño de materiales para la instrucción y (c) la enseñanza de las ciencias (Atkin & Karplus, 1962). Unos años después, a partir de la investigación en el campo de la educación en ciencias, la propuesta tomó forma como modelo para la enseñanza de las ciencias, dándose a conocer como una secuencia de tres fases, a saber: exploración preliminar, invención o introducción del concepto y descubrimiento, como se aprecia en la figura 2.4.1 (Karplus & Thier, 1967).

- La fase de *exploración*, brinda a los estudiantes la oportunidad de entrar en contacto con experiencias directas, relacionadas con los fenómenos de las ciencias. Lo cual, les permite hacer conscientes sus concepciones alternativas

¹⁰ En 1965, David Hawkins propuso un modelo instruccional que sentó las bases estratégicas para las unidades desarrolladas en el Elementary Science Study (ESS), basado en los siguientes tres componentes: (1) exploración estructurada, (2) múltiples experiencias programadas y (3) instrucción didáctica (Bybee, 2006). Por su parte, el Ciclo de Aprendizaje, fue desarrollado en 1967 para el *Science Curriculum Improvement Study* (SCIS), (Hanuscin, 2008).

gracias a las preguntas que debe formula el docente, a la vez que llevan a cabo sus experimentos.

- En la fase de *introducción del concepto* los aprendices pueden elaborar sus propias ideas sobre los fenómenos que son objeto de estudio, a través de la interacción con distintas fuentes como lo son sus pares, la información bibliográfica disponible en diferentes medios, o bien sus profesores. De esta manera, son ellos quienes construyen su propio conocimiento y logran darle sentido de acuerdo con las expectativas creadas desde la exploración.

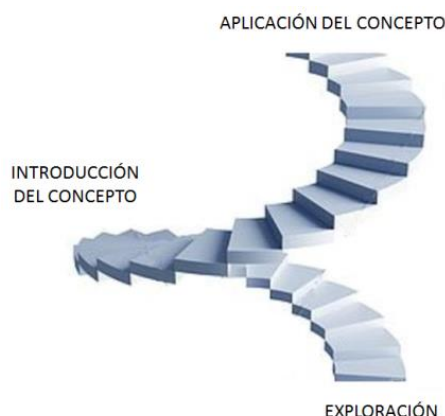


Figura 2.4.1. Etapas del Ciclo de Aprendizaje (traducido de: Karplus & Thier, 1967).

- La fase de *aplicación del concepto*, permite que los estudiantes apliquen las nuevas ideas en otros contextos o situaciones problema. Al realizar dicha actividad, se pone a prueba el nuevo conocimiento, y los aprendices necesariamente deberán poseer un mínimo nivel de proficiencia alrededor del tópico en consideración (Hanuscin, 2008).

Entre las principales ventajas del modelo del Ciclo de Aprendizaje, pueden mencionarse las siguientes:

- La estructura lógica del modelo, le brinda al estudiante la oportunidad de avanzar progresivamente, a lo largo del corredor conceptual en consideración, hacia formas más sofisticadas de pensamiento.
- Se observa en los estudiantes una mejor actitud hacia el estudio de las ciencias
- Permite que los aprendices desarrollen su capacidad de razonamiento.
- Facilita el desarrollo de habilidades superiores de manera más efectiva que los métodos tradicionales (Lawson, Abraham & Renner, 1989).

Por otra parte, desde la perspectiva de los maestros el modelo resulta de ayuda para el diseño de ambientes de aprendizaje de tópicos específicos. Es decir, que dentro del desarrollo conceptual se tienen en cuenta aspectos fundamentales como las grandes ideas de las ciencias, las metas de aprendizaje, la selección y la secuenciación de las actividades de aprendizaje, las estrategias instruccionales y de evaluación. Lo anterior, se traduce en una estructura coherente de las lecciones que contribuye a la comprensión conceptual e integrada de los tópicos. Adicionalmente, el modelo ayuda a que los aprendices puedan hacer significativo el conocimiento nuevo a través de la acomodación de éste a su estructura cognitiva previa, lo cual les permitiría aplicar este nuevo conocimiento en otros contextos problemáticos (Hanuscin, 2008).

Puede deducirse, que el Ciclo de Aprendizaje recoge numerosos elementos útiles para el diseño de materiales instruccionales y las prácticas pedagógicas. Prueba de ello, es el amplio uso que se le ha dado y las diferentes formas en las que ha sido adaptado, de acuerdo con las necesidades de los distintos contextos. Por ejemplo: instrucción por descubrimiento, instrucción por investigación orientada e instrucción por cambio conceptual (Magnusson *et al.*, 1999). En este sentido, los diferentes colectivos de investigadores han realizado algunas modificaciones al ciclo de aprendizaje, con la intención de ajustarlos a sus conocimientos y creencias de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias, como es el caso del modelo de las 5E visto en la sección 2.3.1.3 (Abell, 2010).

2.4.2 Diferenciación en integración de los niveles de representación en la química como herramienta de comunicación

Uno de los principales obstáculos para el aprendizaje de la química, tiene que ver con la diferencia entre los contenidos que el maestro trata de comunicar a los estudiantes, y la manera en la que éstos los conceptualizan. Para el caso de la estequiometría, es la complejidad del tópico uno de los factores que exige una diferenciación clara entre los planos en los cuales tienen lugar los fenómenos (Ver figura 2.4.2). Es decir, que debe establecerse siempre si las descripciones corresponden al nivel macroscópico, submicroscópico o simbólico (Johnstone, 1982).

En general, para los estudiantes resulta más sencillo establecer relaciones y realizar procesos de razonamiento en el nivel macroscópico. Dicho nivel, hace referencia al mundo observable y tangible, donde tienen lugar los fenómenos que el estudiante puede visualizar a través de las prácticas científicas, o la cotidianidad.

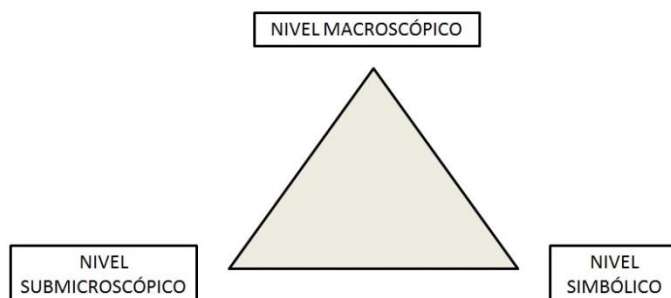


Figura 2.4.2. Niveles de representación (traducido de: Johnstone, 2006)

En esta escala, los procesos incluidos en las actividades de aprendizaje pueden darse como resultado de la interacción entre diversas variables, observándose con frecuencia que algunas están fuera del dominio de los aprendices. Como consecuencia, en la medida que ellos realicen conceptualizaciones a partir de sus observaciones directas, sin ser conscientes de aquello que ocurre a escala submicroscópica, es factible que surjan concepciones alternativas (Johnstone, 1982).

Por otro lado, en el nivel submicroscópico, se considera todo aquello que en coherencia con las teorías existentes, ocurre a escala de las partículas, es decir, a nivel atómico o molecular. En tales condiciones, juegan un papel las fuerzas interatómicas e intermoleculares que generan toda una serie de interacciones entre las distintas especies químicas. Estas, son responsables las propiedades físicas y químicas de las sustancias, por ejemplo: el estado de agregación de las sustancias y la reactividad química. En este nivel, los procesos de conceptualización exigen un alto nivel de abstracción, razón por la cual debe tenerse en cuenta la edad de los estudiantes, de acuerdo con su desarrollo cognitivo.

El tercero, es el nivel simbólico, en el cual los estudiantes tienen la oportunidad de representar gráficamente aspectos de los planos macroscópico y simbólico, mediante modelos, diagramas, fórmulas y ecuaciones químicas. Este nivel, es de gran importancia para los aprendices, ya que es su principal herramienta de trabajo. Adicionalmente, les permite establecer relaciones entre aquello que observan macroscópicamente, con lo que la ciencia considera acerca del nivel submicroscópico.

Ahora bien, el gran desafío surge en el momento de conceptualizar los fenómenos en su respectivo nivel. Por parte de los estudiantes, uno de los primeros

obstáculos es la persistencia de un cierto grado de “realismo ingenuo”¹¹, el cual les puede conducir fácilmente a construir concepciones alternativas, como lo es atribuir propiedades del mundo macroscópico a las partículas en el nivel submicroscópico. Por ejemplo: pensar que los átomos poseer color o sabor (Pozo y Gómez, 1991). De allí, la importancia de la pertinencia del lenguaje en las actividades de enseñanza.

En lo relativo a la estequiometría, los niveles de representación son un aspecto a considerar ya que guardan una relación directa con el desarrollo de los contenidos. En este sentido, cuando se hace referencia a los fenómenos y procesos macroscópicos o submicroscópicos, debe existir en los materiales instruccionales claridad suficiente acerca del límite que separa ambos contextos. Adicionalmente, debe existir un uso apropiado de los distintos códigos empleados en el nivel simbólico, para que los tres niveles relacionados se articulen en función de la comprensión conceptual e integrada del tópico en mención.

2.4.3 Relación sinérgica entre los elementos que conforman la gran idea de la estequiometría

La gran idea de la estequiometría, es un tópico destacado de la química a nivel de educación media. Su aprendizaje, representa un desafío para maestros y estudiantes, dado su alto nivel de complejidad, ya que implica el conocimiento de varios aspectos relacionados con procesos de abstracción demandantes para los aprendices, por ejemplo el concepto de mol y el esquema de la proporcionalidad. En este sentido, se ha comenzado a considerar que el aprendizaje por comprensión conceptual e integrada de dicha idea, necesita de la articulación tanto en el diseño como en la implementación de los siguientes elementos: contenido de la estequiometría, esquemas de la conservación de propiedades no observables y proporcionalidad y las prácticas científicas (Pozo y Gómez, 1998; Candela, 2012).

Para que los estudiantes logren un aprendizaje por comprensión conceptual e integrada de la gran idea de la estequiometría, deben converger en las actividades de aprendizaje los tres elementos antes mencionados. Así pues, es necesario que exista una base sólida, cimentada sobre los esquemas conceptuales de la química, para que puedan desarrollarse de manera concomitante los conceptos relacionados con la estequiometría, y las prácticas científicas. Esto significa, que el estudiante de manera previa debe tener un mínimo dominio de esquemas como

¹¹ “El realismo ingenuo de los niños, suele reducir los fenómenos a estados, las cosas son de una cierta forma porque son así. Buena parte de las explicaciones o re-descripciones de los niños son tautológicas, se limitan a afirmar o describir el estado del mundo sin remitirlo a otras entidades conceptuales” (Pozo y Gómez, 1998, p. 30)

interacción sistémica, conservación de propiedades no observables, equilibrio y proporcionalidad (Pozo y Gómez, 1998). Dichos esquemas, podrán desarrollarse con mayor profundidad al avanzar a través de las sub-ideas en las que se ha dividido la estequiometría para facilitar su aprendizaje.

Las sub-ideas mencionadas son: (1) cambio químico, (2) ley de la conservación de la masa, (3) reactivo límite, (4) rendimiento de una reacción química y (5) pureza de un reactivo. En el desarrollo de cada una, paso a paso se presentan nuevos desafíos para los aprendices, que les brindan la oportunidad de avanzar hacia formas más sofisticadas de pensamiento. Esto, gracias a la secuencia y profundidad de los contenidos, donde además se ha tenido en cuenta la edad de los estudiantes, sus concepciones alternativas y sus conocimientos prerrequisito.

En la sub-idea sobre cambio químico, los aprendices pueden desarrollar el esquema de la conservación de propiedades no observables. Lo cual, puede darse en el transcurso de las prácticas, al tener la posibilidad de establecer relaciones entre los fenómenos observados macroscópicamente y lo que dicen las teorías sobre lo ocurrido a escala submicroscópica. Es decir, que los estudiantes deben identificar que cuando las sustancias sufren una transformación, a escala submicroscópica la naturaleza de los átomos no se modifica, a pesar de que se formen nuevas moléculas. Adicionalmente, entra en juego, como práctica científica, el uso de la evidencia para la elaboración de las explicaciones.

Respecto a la ley de la conservación de la masa, puede afirmarse que es la piedra angular de las relaciones cuantitativas en reacciones químicas. De allí, la necesidad de que los estudiantes posean fundamentos sobre el esquema de la proporcionalidad directa, para así poder identificar que para un sistema determinado la cantidad de átomos de cada elemento debe coincidir al comparar reactivos con productos. Por lo anterior, las prácticas científicas como obtención, organización y análisis de datos resultan pertinentes para las actividades de aprendizaje relacionadas con ésta sub-idea.

En lo relativo a los cálculos estequiométricos que involucran las sub-ideas de reactivo límite, rendimiento de una reacción y pureza de un reactivo, se destacan los siguientes dos esquemas: (1) el de la proporcionalidad directa y (2) la conservación de propiedades no observables. En este orden de ideas, el primero es una valiosa herramienta de los aprendices para la realización de distintas clases de cálculos estequiométricos, los cuales cobran sentido a lo largo de la realización de las prácticas científicas. Por su parte, el esquema de conservación de propiedades no observables, les brinda la oportunidad de hacer extensivos al plano submicroscópico algunos aspectos de los fenómenos observados en el nivel

macroscópico, y que se relacionan con las relaciones cuantitativas en las reacciones químicas.

Finalmente, el desarrollo de las prácticas científicas como la modelación, la obtención, organización y análisis de datos, y la construcción de explicaciones con base en la evidencia, permiten a los estudiantes evolucionar en el proceso de construcción de la gran idea de la estequiometría. Dichas herramientas, no solo dan coherencia a las sub-ideas de la estequiometría, sino que contribuyen a conceptualizarlas, a la vez que brindan motivación a los estudiantes. De allí, que las prácticas científicas hayan sido tenidas en cuenta en unión con los esquemas conceptuales para estructurar la gran idea de la estequiometría.

2.5 LA ESTEQUIOMETRÍA COMO EJE FUNDAMENTAL DE LA QUÍMICA CUANTITATIVA

Se afirma que la estequiometría es quizás uno de los tópicos de la química con mayor nivel de complejidad tanto para su enseñanza como para su aprendizaje, a nivel de educación media (Gabel, 2003). También puede decirse, que para su comprensión es necesario que los estudiantes posean previamente una serie de competencias básicas, entre las cuales pueden citarse: la habilidad para decodificar la información del material instruccional en formato multimodal, así como algunas bases o conocimientos prerequisite¹² que permitan fundamentar dicha gran idea (ver sección 4.1). Seguidamente, se ilustra la manera en la que se establece la estequiometría como una gran idea de la química así como el surgimiento de las sub-ideas.

Según Candela (2016), algunos aspectos que contribuyen a considerar la estequiometría como una gran idea de la química son:

1. *La estequiometría es central al dominio disciplinar*: como lo debe ser todo concepto generativo, tal como sucede con el concepto de mol, el cual es afín con la química cualitativa y la cuantitativa. Adicionalmente permite extender el esquema de la proporcionalidad directa y la conservación de propiedades no observables.
2. *Accesible e interesante para los estudiantes*: esta es una característica que genera en los estudiantes un compromiso por el proceso en cuestión, ya que

¹² Algunos de los conocimientos prerequisite para el aprendizaje de la gran idea de la estequiometría son: desarrollo de los esquemas conceptuales de la química a nivel cualitativo, tales como: interacción sistémica, conservación de propiedades no observables, el equilibrio térmico y el esquema de la proporcionalidad directa e inversa. Adicionalmente, los núcleos conceptuales de la química, como: la naturaleza corpuscular de la materia, la conservación de propiedades de la materia, las relaciones cuantitativas, teorías de enlace químico, tabla periódica, teoría cinética de los gases, nomenclatura química y ecuaciones químicas

se encuentra vinculado con sus vidas. De esta manera, les brinda motivación tanto intrínseca como extrínseca.

3. *Interesante para el profesor*: este criterio en el campo de la educación rara vez se ha asumido como un elemento clave a lo largo de los diseños de aprendizaje. Sin embargo, en los actuales momentos este aspecto ha comenzado a jugar un papel crítico durante la toma de decisiones de diseño, considerando que un profesor apasionado por la enseñanza de un concepto, tiene el potencial de imaginar y crear representaciones más ajustadas a la situación, las cuales mediarán de manera efectiva el aprendizaje del conocimiento en cuestión.
4. *Conectable*: esta característica hace referencia a las diferentes relaciones conceptuales que se pueden establecer entre el concepto generativo dentro y a lo largo de los cursos, es decir, que éste ayuda a configurar el currículum horizontal y vertical de la disciplina específica. Así pues, las relaciones conceptuales que se establecen son indeterminables, ya que el concepto es considerado como un elemento central en el desarrollo y la comprensión profunda de la disciplina.

Ahora bien, desde el punto de vista disciplinar la estequiometría permite establecer relaciones cuantitativas entre las sustancias que forman parte de una reacción química, partiendo de la ecuación química balanceada para determinar la cantidad de cualquiera de los reactivos o productos, conociendo la masa de alguno de ellos, de acuerdo a las leyes ponderales (Mortimer, 2001). Dicho concepto, en el contexto de las HLP puede adquirir el estatus de gran idea cuando se tiene en cuenta un amplio número de elementos que se relacionan de manera previa, paralela y posterior a su desarrollo a través de los distintos grados de escolaridad. Es decir, que para el aprendizaje del tópico, anticipadamente los aprendices deben haber comenzado a procesar los esquemas conceptuales de la química como son: esquema de la interacción sistémica, conservación de propiedades no observables, equilibrio térmico y la relación cuantitativa de proporcionalidad directa. Tales esquemas, se refuerzan durante el desarrollo de las sub-ideas y sirven como base para la conceptualización de otros tópicos que se abordan posteriormente en el currículum de química, como lo son la cinética y el equilibrio químico.

Adicionalmente, para que los contenidos relacionados con la estequiometría puedan estar al alcance epistémico de los aprendices, deben estar estructurados a partir de las teorías del aprendizaje y la investigación en la educación en ciencias. Ejemplo de ello, es la selección, secuenciación y temporalización de los contenidos dentro de la Zona de Desarrollo Proximal de los aprendices, razón por

la cual se hace necesario someter la gran idea de la estequiometría a un proceso de elementarización.

En este sentido, la elementarización del contenido de la estequiometría para la enseñanza, implica dividir dicha gran idea en cinco sub-ideas con el fin de dosificar la cantidad de información, evitando saturar la memoria de trabajo de los estudiantes. Para ello, se plantea una secuencia creciente en profundidad y complejidad, de manera que cada sub-idea sirva como soporte para el desarrollo de la siguiente. Así pues, las sub-ideas: cambio químico, ley de la conservación de la masa, reactivo límite, rendimiento de una reacción química y pureza de los reactivos químicos, componen la gran idea en consideración, permitiendo que los aprendices avancen progresivamente hacia niveles cada vez más sofisticados de comprensión.

Se destaca, que para cada sub-idea de acuerdo con los principios del ciclo de aprendizaje (Von Aufschnaiter, 2009) y las relaciones multinivel (Johnstone, 2006), se ha establecido un enfoque desde tres perspectivas, que buscan facilitar la apropiación de cada sub-idea por parte de los aprendices. Estas son: exploración, descripción y explicación. En este sentido, los estudiantes realizan una primera aproximación a cada sub-idea desde el nivel macroscópico, y luego desde el nivel submicroscópico, contando siempre con la mediación del nivel representacional o simbólico (ver sección 4.2) .

Así pues, la primera sub-idea seleccionada es el cambio químico, la cual se ubica al inicio de la secuencia, dada la necesidad de que los estudiantes consoliden la conceptualización de la conservación de propiedades no observables. Por ejemplo: la conservación de la identidad de los átomos en las reacciones químicas a pesar del cambio en la identidad de las moléculas, lo cual les permitiría identificar la transformación de reactivos en productos, en función del debilitamiento y fortalecimiento de fuerzas intra e intermoleculares. Sobre esta base, los aprendices deberán estar en capacidad de conceptualizar la siguiente sub-idea sobre la conservación de la masa.

La sub-idea de la *ley de la conservación de la masa*, permite establecer que el número de átomos de cada elemento debe ser exactamente el mismo tanto en los reactivos como en los productos. Para el desarrollo de esta sub-idea, los aprendices requieren una base sólida del esquema conceptual de la proporcionalidad directa, el cual se relaciona con las leyes ponderales. Desde allí, los aprendices deberán internalizar que la proporción de todas las especies químicas se encuentra definida por los coeficientes estequiométricos, y se mantiene tanto a escala submicroscópica como macroscópica, sin importar que sea expresada en función de moles o gramos. Así pues, al recorrer las distintas

fases de la presente sub-idea, los estudiantes tendrán suficientes elementos para avanzar hacia la siguiente sub-idea de la progresión, en una secuencia que paso a paso les permite construir un concepto cada vez más complejo en un proceso progresivo de profundidad creciente.

En cuanto al concepto de *reactivo límite*, puede afirmarse que cuando dos o más sustancias reaccionan entre sí de acuerdo con determinada relación estequiométrica, existe la posibilidad de que experimentalmente no resulte evidente dicha proporción. Lo anterior, obedece al hecho de que en un momento dado alguno de los reactivos se agotará completamente, poniendo fin a la reacción, y se denomina reactivo límite. Cualquier otro reactivo, no podrá continuar reaccionando y se denominará reactivo en exceso. Con base en lo anterior, se refuerza el esquema conceptual de la proporcionalidad directa, lo cual apalanca el avance a la siguiente sub-idea sobre el rendimiento de una reacción química. Esto, gracias a la coherencia existente entre las actividades propuestas a lo largo de toda la progresión.

En lo referente al *rendimiento de una reacción*, debe tenerse en cuenta que en un sistema, generalmente no se consigue que la totalidad de las sustancias que reacciona se transforme en productos, ya que hay numerosas variables que de una u otra manera lo impiden. En este sentido, se toma como referente la cantidad máxima que teóricamente se podría obtener de producto, es decir el 100%, y se compara con los datos experimentales, lo cual arroja un resultado que será el porcentaje de rendimiento (ecuación 2.5.1.).

MASA DE PRODUCTO REAL	X	$\frac{100\%}{\text{MASA DE PRODUCTO TEÓRICO}}$	=	PORCENTAJE DE RENDIMIENTO
----------------------------------	----------	---	----------	--------------------------------------

Ecuación 2.5.1. Cálculo del porcentaje de rendimiento

Para que los aprendices estén en capacidad de alcanzar un nivel de comprensión conceptual e integrada de esta sub-idea, es necesario que hayan consolidado los esquemas conceptuales de la conservación de propiedades observables, propiedades no observables y proporcionalidad directa, para lo cual, las actividades propuestas desde las sub-ideas previas con sus diferentes fases, tales como: discusión en pequeños grupos, prácticas científicas, modelación, análisis de animaciones y demás material audiovisual, producción escrita individual y resolución de tareas problema; contribuyen en la construcción de formas de pensamiento progresivamente más sofisticadas. Así pues, las competencias alcanzadas hasta este punto brindan a los aprendices las bases para comprender la última sub-idea.

Finalmente, acerca de la sub-idea relacionada con la *pureza de los reactivos* puede decirse que es común encontrar en la composición de las sustancias que tomarán parte en una reacción, alguna cantidad de otros componentes o impurezas, que por obvias razones no podrán formar el producto buscado. Así pues, si se conoce la masa de un reactivo, es posible calcular su grado de pureza si se conoce la cantidad de alguno de los productos formados. Para ello, se asume la masa inicial del reactivo en cuestión como el 100%, y con base en la masa de producto formado se establece la cantidad de reactivo que lo generó, es decir el reactivo puro (ecuación 2.5.2.).

Con el desarrollo de esta última sub-idea, los estudiantes deberán alcanzar un nivel de comprensión conceptual e integrada de la gran idea de la estequiometría ya que en ésta se recogen los dominios alcanzados en las sub-ideas anteriores.

En consecuencia, los aprendices podrían demostrar su nivel de desempeño mediante la resolución de tareas problemas que involucren los conceptos que componen la progresión, haciendo uso apropiado de los algoritmos.

$\frac{\text{MASA DE REACTIVO TRANSFORMADA EN PRODUCTO}}{\text{MASA TOTAL DE REACTIVO}} \times 100\% = \text{PORCENTAJE DE PUREZA}$

Ecuación 2.5.2. Cálculo del porcentaje de pureza de un reactivo

Lo anterior, es de esperarse como resultado de la coherencia entre las actividades planteadas a lo largo de la secuencia de sub-ideas y fases, con: los estándares de contenido, las metas de aprendizaje, las prácticas científicas, las estrategias instruccionales y las actividades de aprendizaje; es decir, la coherencia intra-unidad.

Por otro lado, resulta pertinente considerar algunas de las concepciones alternativas más recurrentes en el aprendizaje de la química, por tratarse de un aspecto determinante para el éxito de la progresión de aprendizaje. Así pues, a continuación se describen de manera breve aquellas que son de interés para el presente estudio, por guardar relación con la estequiometría.

2.5.1 Concepciones alternativas

Es sabido, que usar la expresión “concepciones alternativas” resulta mucho mejor que decir errores conceptuales, equivocaciones, u otro similar. De cualquier forma, aunque el término minimiza la intención peyorativa, se tiende a indicar que los

conceptos en cuestión se alejan de lo que la ciencia considera correcto. Naturalmente, se trata de una circunstancia completamente normal, lo cual no significa que sea deseable por parte de maestros o estudiantes. Así pues, a continuación se describe someramente lo en este tenor concierne a la enseñanza de la estequiometría

Como se ha descrito en apartados anteriores, las dificultades en la resolución de problemas cuantitativos se originan principalmente en la falta de comprensión conceptual de los tópicos. Así, cuando los estudiantes buscan la manera de resolver un ejercicio sin comprender suficientemente su sentido, puede llegar a plantear como respuesta a un algoritmo un número que acertado o desacertado, carece de la adecuada interpretación. Por tanto, no es de extrañar que la aplicación de los algoritmos sin comprender realmente los procesos que están llevando a cabo, conduzca a que los resultados no sean los esperados. Es por tal razón, que durante la resolución de problemas de lápiz y papel, al cambiar el contexto de la pregunta respecto a ejercicios similares ya conocidos por ellos, muchos estudiantes caen en la incertidumbre (Pozo y Gómez, 1998).

Con base en lo anterior, para el desarrollo de la progresión de aprendizaje se deben identificar algunas de las estrategias empleadas por los aprendices en la resolución de problemas cuantitativos, en el contexto de las concepciones alternativas. Algunas de ellas son:

- *Estrategia cualitativa* para resolver los problemas cuantitativos, ignorando los datos numéricos. Por ejemplo, cuando deben calcular el reactivo límite, en lugar de establecer la proporción entre los reactivos de acuerdo a sus coeficientes estequiométricos y sus masas, los estudiantes se guían por la sustancia minoritaria aunque no siempre.
- *Estrategia aditiva* en la identificación de las sustancias en (a) una reacción química y (b) en la realización de cálculos. Por ejemplo: en el primer caso, representando las moléculas como grupos de átomos obviando su estructura, y en el segundo, comparando los miembros de dos fracciones mediante sumas y restas (Pozo y Gómez, 1998).
- Uso de la *estrategia por correspondencia* o por construcción en la resolución de problemas. Es decir, que se establece una relación en una proporción y se hace extensiva a otras razones, a pesar de que no tenga sentido en términos matemáticos. Por ejemplo: asumir que dos sustancias en proporción 1:2, según los datos de un problema, deban conservar dicha relación cuando en la ecuación balanceada es en realidad 3:5 (Pozo y Gómez, 1998).
- *Estrategia proporcional*. Este caso particular aplica especialmente a situaciones en las cuales existe proporcionalidad directa e inversa, siendo

la primera la que se relaciona con las reacciones químicas. Como ejemplos, puede mencionarse: falsas leyes de conservación de los moles, confusión en el uso de coeficientes estequiométricos y subíndices, y dificultad al diferenciar el nivel macroscópico y submicroscópico (Pozo y Gómez, 1998).

En síntesis, puede afirmarse que las concepciones alternativas son una manifestación de la persistencia de debilidades en aspectos básicos de la disciplina. Entre ellas, pueden mencionarse los núcleos y esquemas conceptuales de la química, así como la falta de comprensión conceptual e integrada de las relaciones cuantitativas en reacciones químicas. Por ejemplo: pensar que no se conserva la forma, el tamaño o el número de partículas en una reacción química.

2.6 EL ARTEFACTO CURRICULAR

Para llevar a la práctica todas las teorías mencionadas en los apartados anteriores, se requiere una interfaz. Dicho instrumento, es una herramienta digital que le sirve al maestro para ayudar a los estudiantes en los procesos de comprensión conceptual de la estequiometría. En este sentido, se ha elaborado un sitio web que contiene los elementos esenciales de la progresión de aprendizaje del tema en cuestión <<http://roosvelt7.wix.com/estequiometria>>.

Es de destacar, que la interfaz mencionada es solo un referente desde la perspectiva de los estudios de diseño que tomará forma en manos del docente, y de ninguna manera pretende ser un instrumento de autoformación para el estudiante. Por tanto, se limita a ilustrar la secuencia y enfoque de las cinco sub-ideas de la estequiometría y sus fases, considerando elementos como: la coherencia en la secuencia conceptual, el uso del lenguaje, las prácticas científicas, las animaciones y las preguntas, entre otros.

3. HIPÓTESIS, OBJETIVOS Y ASPECTOS METODOLÓGICOS

3.1 HIPÓTESIS

El diseño de una progresión de aprendizaje (HLP) con coherencia curricular que ayude a los estudiantes a alcanzar una comprensión conceptual e integrada de la gran idea de la estequiometría, debe de ser informada por teorías de orden general e intermedio, además por herramientas de diseño. En este sentido, las teorías del aprendizaje (cognitiva, sociocultural y procesamiento de la información), en conjunción con la literatura proveniente de la educación en ciencias, y la perspectiva de Bajtin de los lenguajes sociales se entretajan a lo largo del proceso de diseño con el propósito de producir una serie de teorías de dominio específico, que se encuentran alineadas con la enseñanza y el aprendizaje de la gran idea de la estequiometría. Desde luego, dichas teorías de dominio encarnan un conjunto de decisiones curriculares e instruccionales que se materializan a través de un artefacto curricular o secuencia de actividades de aprendizaje.

Ahora bien, para dar solución al problema de investigación se ha diseñado una metodología de análisis de contenido que consta de dos fases, a saber: (a) análisis documental con el fin de explicitar los elementos teóricos y metodológicos que estructuran las HLP, y (b) análisis documental con el propósito de desarrollar las teorías de dominio específico que constituyen las diferentes secciones de la HLP de la estequiometría, y cuya teoría informa la construcción del material instruccional.

Dadas sus características, una progresión de aprendizaje hipotética de ocho semanas daría respuesta a la falta de coherencia intra-unidad en el diseño de materiales instruccionales para la enseñanza-aprendizaje de la estequiometría en grado 10°. Para su validación, dicho diseño hipotético, deberá implementarse y evaluarse en un trabajo de investigación posterior.

3.2 OBJETIVOS

3.2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar de una progresión de aprendizaje hipotética con coherencia intraunidad para la enseñanza de la estequiometría.

3.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✎ Explicitar los elementos teóricos y metodológicos que configuran al enfoque de diseño las progresiones de aprendizaje hipotéticas.
- ✎ Explicitar, documentar y representar a través de la HLP la serie de teorías de dominio específico que se encuentran alineadas con la gran idea de la estequiometría.
- ✎ Diseñar un material instruccional que le brinde a los estudiantes de grado décimo, la oportunidad de comprender de manera conceptual e integrada la gran idea de la estequiometría.

3.3 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

A continuación se relacionan los procedimientos seguidos para la obtención y el análisis de la información, que finalmente han conducido a la construcción de la hipótesis y el artefacto curricular de la Progresión de Aprendizaje Hipotética (HLP) como parte del proceso de diseño (ver figura 3.3). Inicialmente, se hace una breve mención del análisis de contenido como principal herramienta de investigación, y seguidamente se ilustran los resultados obtenidos en forma global.

Direccionados por el problema de investigación, se ha tomado la decisión de asumir dos fases de recolección y análisis de datos para el diseño sistemático de la HLP. Así, la primera fase tiene como tarea central la de elucidar los principales elementos teóricos y metodológicos que subyacen a este enfoque de diseño, y además, construir el marco conceptual de esta investigación, para lo cual, se ha llevado a cabo un análisis de contenido desde la perspectiva de (Krippendorff, 1990). En cuanto a la segunda fase, se realiza una descripción del proceso de diseño de la HLP de la estequiometría tomando como referencia los principios de diseño y las secciones que configuran la estructura de la HLP (ej., selección de la gran idea; descomposición de la gran idea en sub-ideas; metas de aprendizaje; diseño, selección, secuenciación y temporalización de actividades de aprendizaje; entre otros), para ello, también se utiliza la técnica de análisis de contenido, pero desde una enfoque inductivo. Es decir, que se efectúa una lectura sistemática a las respectivas unidades de contexto, con el fin de obtener información que se encuentre alineada con cada una de las diferentes secciones que configuran la HLP y de esta forma construir unas teorías de dominio sobre la enseñanza y aprendizaje de la estequiometría.

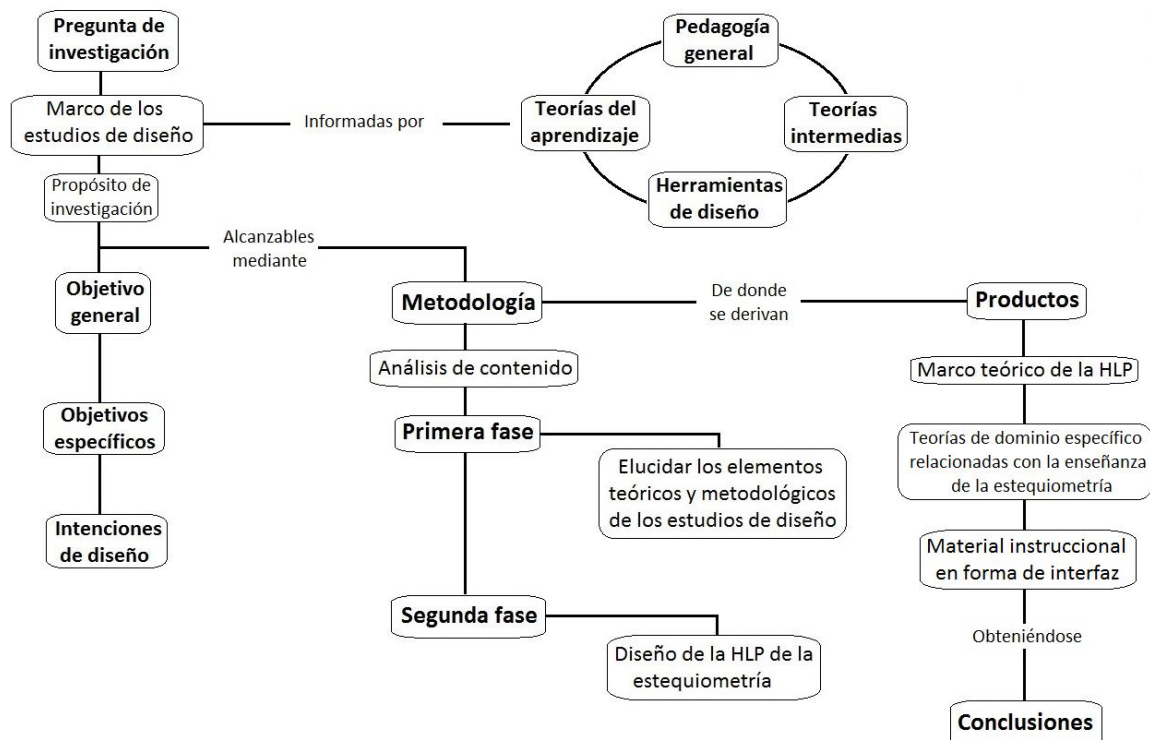


Figura 3.3 Flujograma de la metodología de investigación

3.3.1 PRIMERA FASE: ANÁLISIS DOCUMENTAL

Seguidamente, se describe de manera breve el proceso de obtención de información de las distintas fuentes consultadas, así como el diseño de la rejilla de análisis para dicho propósito.

En el campo de la investigación social en general y en particular, en los estudios de diseño de ambientes de aprendizaje, la técnica del análisis de contenido ha comenzado a jugar un papel protagónico. De hecho, ésta le ha permitido a los diseñadores llevar a cabo inferencias interpretativas a textos de formato continuo con el propósito deliberado de elicitar de éstos la intención manifiesta y latente del autor (Krippendorff, 1990).

En coherencia con el propósito fundamental de esta investigación, centrado en el diseño de una HLP acerca de la gran idea de la estequiometría que permita ayudar superar la falta de coherencia intracurricular en los materiales instruccionales, se ha tomado la decisión de utilizar la técnica de análisis de contenido (Krippendorff, 1990). Para ello, se ha optado por formular las unidades de análisis para este estudio, las cuales son categorizadas como: unidades de

muestreo, unidades de registro y unidades de contexto¹³ (ver Tablas 3.3.1, 3.3.2, y 3.3.3 respectivamente).

Tabla 3.3.1. Contenido de la unidad de muestreo

UNIDAD DE MUESTREO	
FUENTE	TEMA
ARTÍCULOS	HLP
	Educación en química
CAPÍTULOS DE LIBROS	HLP
	Educación en química
LINEAMIENTOS CURRICULARES	Currículum prescrito
ESTÁNDARES BÁSICOS DE COMPETENCIAS NACIONALES E INTERNACIONALES	Currículum prescrito

Tabla 3.3.2. Contenido de la unidad de contexto

UNIDAD DE CONTEXTO		
FUENTE	TEMA	PROPIEDADES
ARTÍCULOS	HLP	Estructura de la HLP
	Educación en química	Enseñanza y aprendizaje de la estequiometría
CAPÍTULOS DE LIBROS	HLP	Origen y estructura de la HLP
	Educación en química	Estequiometría
LINEAMIENTOS CURRICULARES	Currículum prescrito	Enfoque de la química en el currículum
ESTÁNDARES BÁSICOS DE COMPETENCIAS	Currículum prescrito	Enfoque de la estequiometría en el currículum

Unidad de registro: está delimitada por las subcategorías que configuran la rejilla de análisis (ver tabla 3.3.3 y 3.3.4). En ésta, se incluye siempre un encabezado con datos particulares de cada publicación, así como un código para su clasificación. Es válido agregar, que algunas categorías y subcategorías de las rejillas de análisis han cambiado con el avance del proceso de análisis, entendiéndose que este tipo de procesos admite una evolución de acuerdo con un

¹³ Krippendorff (1990) conceptualiza las unidades de análisis como: (a) Unidades de muestreo: son aquellas porciones del universo observado que serán analizadas; (b) Unidades de registro: son consideradas como la parte de la unidad de muestreo que es posible analizar de manera aislada; y (c) Unidades de contexto: es la porción de la unidad de muestreo que tiene que ser examinada para poder caracterizar una unidad de registro.

ciclo iterativo de diseño de la investigación, aplicación del modelo, evaluación y rediseño.

Tabla 3.3.3. Esquema del encabezado de la rejilla de análisis de contenido

REJILLA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO	
Código: según la categoría, país de origen y año de publicación	Categoría: (ver tabla 3.3.4)
Referencia bibliográfica	Título de la publicación:
Autores	Proceso del análisis
Subcategorías... (ver tabla 3.3.4)	

Conviene destacar, que gracias a la técnica de análisis de contenido se ha conseguido hacer una lectura entre líneas y detrás de líneas a la serie de unidades de contexto¹⁴. Para ello, en la rejilla utilizada las categorías son de carácter deductivo, es decir, que provienen tanto de la sabiduría que otorga la experiencia al diseñador, como de la literatura en educación en ciencias. Desde luego, que el fin de dicho análisis documental es de diseñar la HLP que está fundada por una teoría de dominio específico la cual se traduce en un material instruccional con coherencia intracurricular. En efecto, la lectura sistemática le da a esta investigación un alto nivel de confiabilidad y validez exigidas para esta clase de estudios de diseño, tanto a los datos producidos desde dicho proceso, como a las proposiciones provenientes del análisis de los mismos para el estudio en consideración.

Con base en lo anterior, el proceso de análisis ha sido enfocado hacia un conjunto de documentos de orden nacional e internacional. Éstos, entre otros aspectos, recogen de manera sistemática los marcos teóricos, metodológicos y empíricos que subyacen a los estudios sobre el diseño de la enseñanza de tópicos específicos, con la intención de hacerles una lectura sistemática y científica. Dicho proceso analítico, ha brindado la posibilidad de adscribir unidades de análisis con sentido independiente a cada una de las categorías y subcategorías que han estructurado la rejilla de análisis (ver tabla 3.3.4).

¹⁴ Las fuentes de datos para este estudio son: políticas educativas, currículum prescripto, artículos de investigación y reflexión, libros de educación en ciencias, textos escolares, PEI, currículum de ciencias de la Institución Educativa.

Tabla 3.3.4. Relación de las categorías y subcategorías de la rejilla de análisis.

CATEGORÍAS	SUBCATEGORÍAS
ELEMENTOS DE LOS ESTUDIOS DE DISEÑO	Principios para el diseño de ambientes de aprendizaje de tópicos específicos
	Coherencia intra-unidad e inter-unidad
	Perspectivas que fundamentan el uso del lenguaje para la enseñanza de la química
PROGRESIONES DE APRENDIZAJE	Fundamento teórico y metodológico
	Conceptualización de progresión de aprendizaje
	Tipos de progresiones
	Anclaje inferior
	Anclaje superior
	Ideas que configuran el tópico
	Estrategias de evaluación
	Estándar de contenido
	Estándar de indagación
	Desempeño de aprendizaje

La aplicación sistemática de la rejilla de análisis a la serie de unidades de contexto (ej., los artículos provenientes de la metodología de investigación basada en los estudios de diseño), produjo un conjunto de datos los cuales han recogido información pertinente que describe el problema del presente estudio. Seguidamente, la información adscripta a las diferentes categorías y subcategorías del conjunto de rejillas se han vinculado semánticamente, con el fin de generar una teorización que recoge los principales presupuestos de la perspectiva del diseño de progresiones de aprendizaje. De hecho, esta tarea analítica ha permitido evidenciar tres clases de teorías, a saber: teorías de tamaño de grano grueso, medio y fino. Las primeras, hacen referencia a las teorías del aprendizaje y la pedagogía general; las segundas abordan los principales elementos de la educación en ciencias; en tanto que las últimas están relacionadas con el diseño de ambientes de aprendizaje (ver sección 4.4 y tabla 3.3.5).

Tabla 3.3.5. Sistema de elementos teóricos que sustentan el diseño de la HLP.

ELEMENTOS TEÓRICOS	CONTENIDOS
Teorías del aprendizaje	• Teoría constructivista cognitiva • Teoría constructivista sociocultural • Teoría del procesamiento de la información
Pedagogía general	• Rutinas, técnicas, estrategias y modelos de enseñanza
Teorías intermedias	• Modelo de reconstrucción educativa

	• Uso del lenguaje
Herramientas de diseño	• Niveles de representación de la química • Relación sinérgica entre los elementos que componen la estequiometría (esquemas conceptuales, gran idea de la estequiometría y prácticas científicas). • Ciclo de aprendizaje.

Adicionalmente, esta tarea analítica permitió formular una estructura lógica para la HLP con el fin de documentar y representar las teorías de dominio específico que fundan la hipótesis en cuestión (ver Tabla 3.3.6, sección siguiente).

Conviene subrayar, que direccionados por los principios y estructura lógica de la progresión de aprendizaje se procedió a llevar a cabo un segundo análisis de contenido desde la perspectiva de Krippendorff (1990). Para ello, se utilizó la información incluida en las unidades de contexto y muestreo que estuvieran alineadas con cada de las secciones de la HLP y con el problema de investigación. Posteriormente, se realizó un ordenamiento conceptual de los datos provenientes de dichas unidades de análisis, para finalizar con la teorización, la cual permitió el diseño de la progresión de aprendizaje e informó el desarrollo del artefacto curricular.

3.3.2 SEGUNDA FASE: ANÁLISIS DE DATOS PARA EL DISEÑO DE LA HLP

En esta sección, se describe la metodología para el diseño de la Progresión de Aprendizaje Hipotética (HLP), que responde al problema de investigación. En este sentido, se relacionan las técnicas y estrategias empleadas para recoger y procesar la información encontrada en las distintas unidades de muestreo y contexto (ej., literatura que funda las progresiones de aprendizaje, artículos sobre educación en química, documentos que recogen los estándares básicos de competencias, textos sobre las teorías de aprendizaje, entre otros), así como el aporte de las mismas en la fundamentación de la hipótesis y del artefacto curricular.

Ahora bien, para comenzar se afirma que la toma de decisiones curriculares e instruccionales que configuran el cuerpo de conocimientos de la progresión de aprendizaje hipotética sobre la estequiometría, ha sido informada tanto por las grandes teorías del aprendizaje como por los marcos intermedios provenientes del campo de la educación en ciencias. Por ejemplo, los marcos que fundan las teorías del procesamiento de la información, el constructivismo cognitivo, el constructivismo sociocultural junto a la literatura de la educación en química, direccionaron la construcción de un conocimiento de dominio específico también

conocido como teorías humildes (Brown, 1996; Cobb, *et al.*, 2003). Todas ellas, materializadas en la progresión de aprendizaje hipotética, la cual recoge una prescripción de cómo los estudiantes de décimo grado pueden alcanzar un aprendizaje por comprensión conceptual e integrada de la estequiometría. Naturalmente, dichas teorías humildes orientan el diseño y la secuenciación de la serie de actividades de aprendizaje que configuran el artefacto curricular cuyo fin es el de mediar la comprensión de la idea bajo consideración.

Por otra parte, se destaca que después de haber revisado de manera sistemática la literatura que funda la perspectiva de diseño de las progresiones de aprendizaje, en ésta se evidencia la no existencia de un formato que permita representar y documentar la teoría que funda, tanto las decisiones curriculares e instruccionales como a las intenciones de diseño. De allí, que se haya tomado la decisión de construir éste, tomando como punto de referencia los elementos de diseño que son comunes a todos los enfoques pertenecientes a la línea de investigación de los estudios de diseño¹⁵, así pues, el formato permitió representar el contenido teórico de la progresión de aprendizaje de la estequiometría (ver tabla 3.3.6, y sección 4.4).

Tabla 3.3.6. Secciones de la HLP

ELEMENTOS DE LA HLP	
SECCIÓN	CONTENIDO
1	Contexto de la progresión de aprendizaje.
2	Teorías de nivel de grano grueso que soportan el diseño de la progresión de aprendizaje de la gran idea de la estequiometría.
3	Análisis conceptual de la gran idea de la estequiometría para propósitos curriculares.
4	Secuenciación, temporalización, representación y elección de estrategias pedagógicas de la gran idea de la estequiometría.

La anterior perspectiva ha apoyado la construcción de las teorías de dominio específico que sustentan la HLP del tópico de la estequiometría, la cual se

¹⁵ Los diferentes enfoques que configuran la línea de investigación de los estudios de diseño se han caracterizado de manera general por estar orientados a través de los siguientes elementos de diseño: Análisis contextual; selección de una gran idea o tópico generativo; descomposición de la gran idea en sub-ideas; construcción de metas de aprendizaje; identificación de dificultades/limitaciones y concepciones alternativas; diseño y secuenciación de las actividades de aprendizaje, entre otros (Collins, et al. 2004).

documenta y representa por medio de una estructura conceptual de la HLP anterior con el fin de comunicarla y validarla dentro de escenarios educativos. Naturalmente, para llevar a cabo dicha tarea analítica se utilizó la técnica del análisis de contenido (Krippendorff, 1990) con el propósito de desarrollar teóricamente cada una de las diferentes secciones que configuran dicha estructura. En esta fase analítica las unidades de contexto y muestreo coinciden, de ahí que se las represente a partir de la tabla 3.3.7.

Desde la anterior perspectiva, la construcción del presente marco metodológico de la HLP para la enseñanza de la estequiometría, se ha logrado aplicando la técnica del análisis de contenido (Krippendorff, 1990).

Tabla 3.3.7. Contenido de la unidad de muestreo y contexto de la segunda fase

UNIDAD DE MUESTREO Y CONTEXTO		
FUENTE	TEMA	PROPIEDADES
CURRICULUM PRESCRITO EN EDUCACIÓN EN CIENCIAS A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL	• Estándar básicos de competencias en ciencias • Acciones de pensamiento • Desempeño de aprendizaje • Estándares de contenido	• Estándares de química • Acciones de pensamiento relacionadas con la estequiometría • Desempeños de aprendizaje asociados con la estequiometría • Estándares de contenido relacionados con la estequiometría
CURRÍCULUM PLANEADO	Proyecto Educativo Institucional de la Institución Educativa	Características del currículum de química en la Institución Educativa
LITERATURA EN EDUCACIÓN EN CIENCIAS	Limitaciones y dificultades en el aprendizaje de la química	Limitaciones y dificultades en el aprendizaje de la estequiometría
ARTÍCULOS	Modelo de Reconstrucción Educativa	Estructura del MER
	Uso del lenguaje	Lenguaje social y Lenguaje social científico
	Niveles de representación de la química	Lenguaje multinivel en la química
	Estequiometría	Sub-ideas que constituyen la estequiometría
	Esquemas conceptuales de la química	Proporcionalidad directa y conservación de propiedades no observables
	Prácticas científicas	Modelación, obtención, organización y análisis de datos; construcción de explicaciones con base en la evidencia
	Ciclo de Aprendizaje	Aplicación del Ciclo de Aprendizaje en el diseño instruccional

En esta segunda fase, a partir de las unidades de contexto y muestreo que representan la conceptualización y atributos del enfoque de la progresión de aprendizaje (ver tabla N° 3.3.6), se han realizado las inferencias interpretativas en forma de proposiciones con sentido independiente, que permitieron establecer vínculos semánticos con la intención de construir una teorización que funda los principios y estructura lógica de la progresión de aprendizaje de la estequiometría. De igual manera, han contribuido a direccionar los principales elementos conceptuales y metodológicos tenidos en cuenta a lo largo de la construcción de la HLP.

Finalmente, en el siguiente apartado con el propósito de ilustrar al lector de este informe de investigación, se presenta de manera sucinta las propiedades que caracterizan a cada una de las secciones que configuran la HLP en cuestión, junto con el proceso de teorización que dio origen al cuerpo de conocimientos, el cual le da vida a la progresión de aprendizaje de la estequiometría.

3.3.2.1 Análisis del contexto

A continuación se describe el proceso seguido para la caracterización del contexto de la Institución Educativa Rosa Zárate de Peña, localizada en el sector rural del municipio de Yumbo-Valle del Cauca, donde se espera en un futuro desarrollar la HLP¹⁶. Adicionalmente, se resumen algunos aspectos generales relacionados con el currículum de ciencias naturales, los docentes y los estudiantes.

En una primera instancia, el conocimiento del contexto en el cual se podrá implementar la progresión de aprendizaje es determinante para el éxito de la enseñanza de la idea de la estequiometría. De allí, que para su diseño se haya requerido construir una teoría que recoge los antecedentes culturales y socioeconómicos de los agentes de la Institución educativa. Adicionalmente, dicha teoría aborda aspectos que hacen referencia a los recursos en términos profesionales y materiales, los cuales juega un papel crítico para el diseño e implementación exitosa de dicha propuesta.

En este sentido, se llevó a cabo una lectura sistemática por medio de la técnica análisis de contenido, a las diferentes unidades de registro que estructuran las fuentes documentales, tales como: Proyecto Educativo Institucional (PEI), lineamientos curriculares, estándares básicos de competencias a nivel nacional e

¹⁶ Conviene aclarar que este estudio pos gradual se enmarca solo en el diseño de la progresión de aprendizaje y el desarrollo del artefacto curricular, dado que, ésta se encuentra alineada con los requisitos tanto cognitivos como de tiempo del nivel de maestría. Así pues, la implementación y evaluación de esta propuesta curricular hace parte de un estudio posterior del autor en cuestión.

internacional y reportes de las pruebas SABER de los últimos cinco años. Ahora bien, con base en el análisis de los documentos estatales antes mencionados, las teorías sobre el aprendizaje y la literatura existente sobre estudios de diseño, se logró determinar la pertinencia del diseño de una progresión de aprendizaje de ocho semanas para la enseñanza de la estequiometría. Dicha posibilidad, surge como consecuencia de analizar los aspectos psicológicos, pedagógicos y curriculares del contexto de la Institución Educativa Rosa Zárate de Peña.

Respecto a lo anterior, puede afirmarse que existe un conjunto complejo de factores que en los últimos años han situado a la mencionada Institución en una posición por debajo de la media nacional y municipal, según lo indican los reportes de las pruebas SABER en los distintos grados de escolaridad. Entre las posibles causas de dicha problemática pueden mencionarse situaciones como: planta incompleta de docentes, malla curricular con dificultades de coherencia, materiales de enseñanza con deficiencias en la coherencia intra e intercurricular y enseñanza centrada en el docente. Por otra parte, se observa falta de compromiso de los estudiantes y padres de familia en los procesos de formación, aspecto que se evidencia en los altos índices de ausentismo, repitencia y deserción escolar.

Dadas las condiciones de la I.E. Rosa Zárate de Peña, se hace necesaria una intervención desde distintos frentes en busca de comenzar a dar una solución a dicha problemática. En este sentido, el diseño de una progresión de aprendizaje que informe la creación de un artefacto curricular que supere las restricciones de coherencia intracurricular estaría aportando a la resolución de la problemática, dado que, este emprendimiento brindaría en un futuro luces a los profesores de la institución para orientar el diseño de materiales instruccionales que posteriormente serían implementados y evaluados. Por tanto, por tratarse de una iniciativa individual, se ha decidido diseñar una Progresión de Aprendizaje Hipotética (HLP) de ocho semanas, dirigido a los estudiantes de grado 10º, para uno de los tópicos del currículum de la química cuyo aprendizaje presenta mayor dificultad, tal es el caso de la estequiometría.

Ahora, con una idea aproximada del área problemática y siguiendo con el orden planteado, seguidamente se relacionan las teorías de nivel de grano grueso, en las cuales se fundamenta la HLP.

3.3.2.2 Teorías de nivel de grano grueso que soportan el diseño de la progresión de aprendizaje de la gran idea de la estequiometría.

A continuación, como resultado del análisis documental, se relacionan en términos generales, algunos elementos de nivel de grano grueso, tomados desde las

teorías del aprendizaje y la pedagogía general que son de interés para el desarrollo de la HLP.

Apoyados en la técnica de análisis de contenido (Krippendorff, 1990) se llevó a cabo una lectura sistemática a las unidades de registro que configuran las unidades de contexto, las cuales se encuentran estrechamente relacionadas con dos clases de teorías de tamaño de grano grueso. En primer lugar se consideran las teorías del aprendizaje, las cuales incluyen: la cognitiva (Inhelder y Piaget, 1955), la sociocultural (Vygotsky, 1978) y el procesamiento de la información (Johnstone, 2006). Las segundas, incluyen algunas teorías de la pedagogía general que resultan pertinentes para llevar a la práctica el presente estudio de diseño, como son las técnicas, estrategias y modelos de enseñanza (Abell, 2010). Dichas perspectivas, representan el marco que fundamenta la HLP en un nivel de grano grueso, que le brindan robustez (ver tabla 3.3.8).

Tabla 3.3.8 Contenidos que sustentan el desarrollo teórico de la sección teorías de tamaño de grano grueso

ELEMENTOS TEÓRICOS	CONTENIDOS
Teorías del aprendizaje	• Teoría constructivista cognitiva • Teoría constructivista sociocultural • Teoría del procesamiento de la información
Pedagogía general	• Técnicas, estrategias y modelos de enseñanza

Como puede percibirse de la tabla anterior, tanto las teorías del aprendizaje como la pedagogía general comprenden un amplio cuerpo de conocimientos, y son una de las bases sobre la cual se construyen las teorías de dominio específico. De manera similar, la teoría constructivista cognitiva, la teoría constructivista sociocultural y la teoría del procesamiento de la información, son referentes dentro del contexto de la educación y la investigación sobre educación en ciencias. No obstante, para la realización del presente estudio, de dichas teorías únicamente se han tomado algunos elementos que de manera puntual contribuyen en los procesos de comprensión conceptual de la gran idea de la estequiometría, así como en la construcción de los conocimientos prerrequisito.

En esencia, de la teoría cognitiva se han tenido en cuenta los esquemas conceptuales (Conservación de propiedades no observables, la proporcionalidad directa y la interacción sistémica), los cuales son el fundamento de las relaciones cuantitativas en las reacciones químicas y por tanto de la estequiometría. De la teoría sociocultural, se consideran dos aspectos, uno de ellos se relaciona con la importancia de los procesos de construcción colectiva (intermental) que apoyan el proceso de construcción individual (intramental), y el otro es el de Zonas de

Desarrollo Proximal, el cual resulta determinante para el diseño de las actividades de aprendizaje, ya que permiten delimitar el enfoque y la profundidad de los contenidos (ver sección 4.4). Por su parte, la teoría del procesamiento de la información, ha resultado útil para la toma de decisiones curriculares e instruccionales dentro del diseño de la HLP, en lo referente a la dosificación de los temas, de acuerdo con la capacidad de la memoria de trabajo de los estudiantes, en función de las relaciones multinivel aplicadas a la estequiometría (ver sección 2.2).

Por otro lado, de la pedagogía general se han tenido en cuenta algunas técnicas, estrategias y modelos de enseñanza como herramientas de gran utilidad para el desarrollo de la progresión de aprendizaje dentro del aula. Debe aclararse, que la selección recomendada a continuación, no pretende coartar la libertad del maestro y se sugieren por defecto, teniendo en cuenta que dentro del contexto de la investigación y la educación en ciencias poseen toda validez (ver sección 2.3.1).

En relación con las técnicas de enseñanza, uno de los recursos con los que cuenta el docente para motivar e invitar a la reflexión de sus estudiantes, es la pregunta. En este sentido, la formulación de interrogantes pertinentes al tema en consideración, que se encuentren dentro del alcance epistémico de los aprendices contribuye notablemente a los procesos de comprensión conceptual e integrada de los distintos tópicos de la estequiometría.

En lo referente a los modelos de enseñanza, el ciclo de aprendizaje (Karplus & Thier, 1967), resulta ser propicio para la enseñanza de la química. Dicho modelo, ha prevalecido durante largo tiempo, entre otras razones, debido a que puede ser adaptado a las necesidades de un contexto específico. Para el presente caso, se han considerado tres fases, a saber: exploración, descripción y explicación. Éstas, pueden generar proceso iterativo que brindan la oportunidad a los aprendices de avanzar progresivamente hacia las metas de aprendizaje propuestas en el anclaje superior de la HLP.

En cuanto a las estrategias de enseñanza, llama la atención el POE (predecir, observar y explicar), el cual resulta pertinente para el desarrollo de actividades ubicadas en la fase explicativa del ciclo de aprendizaje. Así pues, el conocimiento generado después de comparar las predicciones de los fenómenos observados con los resultados obtenidos contribuye en los procesos de reconstrucción conceptual. Adicionalmente, resulta útil cuando se trata de brindar a los estudiantes la motivación para el desarrollo de la progresión.

Finalmente, puede agregarse que lo anterior surge como resultado de la lectura analítica de los documentos ya mencionados, lo cual ha permitido generar las proposiciones con sentido independiente que sustentan cada una de las secciones de la HLP. Así pues, se incluyen elementos reconocidos dentro del campo de

investigación y la educación en ciencias, los cuales se enfocan desde la perspectiva de la investigación sobre los procesos cognitivos que le permiten al individuo realizar los procesos de comprensión conceptual.

En el siguiente apartado, será posible visualizar como los presupuestos ya establecidos pueden llevarse a la práctica de diseño, gracias a la interrelación de las teorías de nivel intermedio con las de grano fino

3.3.2.3 Análisis conceptual de la gran idea de la estequiometría para propósitos curriculares.

En esta sección, se indica la relación existente entre las teorías de nivel intermedio y los elementos disciplinares de la química asociados a la estequiometría, con el fin de dar sentido a dicho tópico en el contexto del aula, en función de la coherencia de sus componentes. Por ejemplo: el modelo MER, el uso del lenguaje desde la perspectiva de Vygotsky y Bajtín, las relaciones multinivel, los elementos que componen la estequiometría y el ciclo de aprendizaje (ver tabla 3.3.9).

Las teorías de grano grueso mencionadas en el apartado anterior, sumadas al conocimiento del contexto han informado, entre otras cosas, el proceso de elementalización del contenido para la enseñanza como la primera etapa de la aplicación del Modelo de Reconstrucción Educativa (MER). Dicho cometido, implica que con base en las metas de aprendizaje puedan desarrollarse las ideas básicas de la estequiometría a partir del conocimiento disciplinar, las cuales fundamentarán el diseño de las actividades de aprendizaje.

Tabla 3.3.9. Contenidos que sustentan el desarrollo teórico de la sección teorías de grano medio y fino.

ELEMENTOS TEÓRICOS	CONTENIDOS
Teorías intermedias	• Modelo de reconstrucción educativa (MER) • Uso del lenguaje
Herramientas de diseño	• Niveles de representación de la química • Ciclo de aprendizaje. • Relación sinérgica entre los elementos que componen la estequiometría (esquemas conceptuales, gran idea de la estequiometría y prácticas científicas).

Como ya se ha mencionado antes (ver sección 2.1.1.1), las metas de aprendizaje así como la coherencia entre las mismas, son la piedra angular sobre la cual se diseñan las actividades de aprendizaje encaminadas hacia los procesos de

comprensión conceptual e integrada de la estequiometría por parte de los estudiantes. En este sentido, su construcción se llevó a cabo a partir de los conocimientos prerequisite, las concepciones alternativas y los estándares nacionales de competencias relacionadas con dicho tópico (ver sección 2.1.3.8 y 4.4). Debe agregarse, que en su formulación contribuyeron algunas de las acciones de pensamiento contempladas en los documentos nacionales, no obstante, la mayor parte se elaboró a partir de conocimientos prerequisite y concepciones alternativas, sumados al conocimiento disciplinar por parte del diseñador.

Una vez definidas las metas de aprendizaje, el proceso de elementarización del contenido de la estequiometría requiere brindar a los aprendices la posibilidad de interactuar con los contenidos del tópico. Para ello, con base en la información concerniente a la estequiometría que se encuentra tanto en los textos universitarios como los de educación media más comunes del medio nacional, se elaboró una síntesis del tópico en términos tales que los estudiantes pudiesen comprenderlos. Es decir, que para el diseño de la progresión de aprendizaje resulta fundamental que los contenidos relacionados con la estequiometría, puedan estar al alcance epistémico de los estudiantes sin perder su esencia, ni su profundidad.

Dada la complejidad de la estequiometría, como parte del proceso de elementarización, se tomó la decisión de diseño de dividir el tópico en cinco sub-ideas, a saber:

1. Cambio químico
2. Ley de la conservación de la masa
3. Reactivo límite
4. Rendimiento de una reacción química
5. Pureza de un reactivo químico.

De esta manera, se da inicio a un proceso que permitirá a los aprendices comprender conceptualmente dicho tópico de manera progresiva, lo cual se refleja en aspectos como el desarrollo de un lenguaje social científico, a partir de un lenguaje social cotidiano (ver sección 4.3).

Ahora bien, las herramientas de diseño permiten que los contenidos presentes en las sub-ideas puedan articularse dentro de la lógica de la HLP. Es decir, que cada sub-idea debe formularse en función de las relaciones multinivel, los elementos que componen la estequiometría y el ciclo de aprendizaje. Lo anterior, manteniendo en perspectiva el anclaje inferior y el anclaje superior de la HLP.

Como resultado de dicha articulación, para cada una de las cinco sub-ideas se pueden establecer las fases exploratoria, descriptiva y explicativa. A su vez, cada fase comprende elementos específicos del lenguaje multinivel. Es decir, que en la

fase exploratoria se realiza una aproximación a los fenómenos desde el nivel macroscópico, dejando para la fase descriptiva el enfoque de las actividades de aprendizaje desde el nivel submicroscópico. Debe anotarse, que el nivel simbólico participa en las tres fases, de modo que en la explicativa el estudiante pueda estar en capacidad identificar y diferenciar cada uno de los tres niveles representacionales.

Finalmente, la relación sinérgica entre los elementos que componen la estequiometría permite dar cuerpo a la estructura de las actividades de aprendizaje. En este sentido, los contenidos de las grandes ideas han sido articulados con las prácticas científicas en el nivel representacional macroscópico, mientras que los esquemas conceptuales se desarrollan de manera concomitante con el avance de las cinco sub-ideas.

Como puede percibirse, al avanzar el diseño de la HLP se identifican una serie de factores que interactúan entre sí en un delicado balance. Sin embargo, aún restan otros componentes por ser tenidos en cuenta como se indicará a continuación en el apartado siguiente.

3.3.2.4 Secuenciación, temporalización, representación y elección de estrategias pedagógicas de la gran idea de la estequiometría.

Seguidamente, se esbozan los detalles finales que se deben considerar para que la HLP pueda tomar forma como artefacto curricular. Es decir, que ahora confluyen los elementos mencionados en los apartados anteriores sumados a los conocimientos implicados en la puesta en práctica de la HLP en un contexto específico.

En busca de diseñar ambientes de aprendizaje propicios para la enseñanza-aprendizaje de la estequiometría se ha realizado un recorrido que ha descubierto en el modelo MER una manera de involucrar la investigación sobre educación en química con la enseñanza del tópico mencionado. Es así, como dicho modelo juega un papel central en cuanto al diseño de materiales instruccionales, como es el caso de la HLP (ver figura 2.3.1.2.2).

En este sentido, el modelo MER ha informado el desarrollo de la HLP, para lo cual se han tenido en cuenta dos procesos en relación con la clarificación del contenido de la estequiometría. En primer término, se tuvo en cuenta la elementalización de los contenidos de la ciencia, lo que permite hacer enseñable el conocimiento de la estequiometría, y ahora en una segunda etapa, para la “construcción del contenido para la instrucción”. Es decir, que los contenidos en consideración deben entrar en relación con un contexto específico para que de este modo adquieran sentido para los aprendices (Duit, 2012). Para lograr dicho cometido, desde la perspectiva de la

HLP deben articularse en forma sincrónica una suerte de elementos desde diferentes marcos, en un nivel de grano fino.

En este orden de ideas, se han considerado los estándares nacionales de competencias, los lineamientos curriculares y los documentos institucionales, entre otros referentes, para articular la lógica de la disciplina con fines curriculares. De esta manera, se informan y direccionan la selección de los estándares de contenido, los estándares de indagación y los desempeños de aprendizaje, de acuerdo con las distintas fases que configuran la progresión (ver sección 4.4).

Así pues, habiendo definido la lógica de la disciplina para fines curriculares y los desempeños de aprendizaje, acto seguido, se realizó la revisión de los textos escolares, apoyado en el análisis a la literatura del campo de la educación en ciencias y los marcos intermedios. A continuación, dichos conocimientos que subyacen a las cinco sub-ideas de la estequiometría, se compararon con las concepciones alternativas relacionadas para dicho tópico (Pozo y Gómez, 1998), con el fin de alinearlas con los estándares de contenido. A partir de allí, fue posible direccionar las decisiones de diseño, como lo son la selección las técnicas, estrategias y modelos de enseñanza pertinentes para la HLP de la estequiometría. Por ejemplo, en el presente estudio de diseño el modelo seleccionado fue el ciclo de aprendizaje (ver sección 3.3.2.2).

Con base en lo anterior, y teniendo en cuenta elementos de la HLP como los anclajes inferior y superior, y las expectativas sociales, se compara la perspectiva de la disciplina con las dificultades de aprendizaje. De esta manera, para el diseño del ciclo de aprendizaje, surge la necesidad de implementar tres niveles de profundidad, el exploratorio, el descriptivo y el explicativo. Es decir, que alineados con las tres fases del ciclo de aprendizaje, se da lugar a tres actividades para cada sub-idea. Lo que finalmente, constituye el corazón de las actividades de aprendizaje.

Así pues, la secuencia de las sub-ideas debe iniciar con el anclaje inferior y culminar con el anclaje superior. El primer anclaje, se establece sobre los conocimientos prerequisite que apoyan la gran idea de la estequiometría, mientras que el anclaje superior se relaciona con las metas de aprendizaje. Entre ambos estados, existe una secuencia de actividades de aprendizaje ordenadas en forma creciente según su grado de complejidad, que brindan la oportunidad a los aprendices de alcanzar una comprensión conceptual e integrada de la estequiometría.

Como puede observarse, todo este conjunto de elementos que conforman la HLP, necesitan tomar forma de una manera accesible para los decentes de química. Es

por tal motivo, que el material instruccional obtenido como producto del presente estudio de diseño se ha recogido en forma de recurso digital. Así pues, luego de explorar las herramientas tecnológicas, se optó por crear un sitio Web, cuyo URL es: <<http://roosvelt7.wix.com/estequiometria>>.

En dicho material instruccional, se recogen las cinco sub-ideas de la estequiometría discriminadas en sus respectivas fases, teniendo en cuenta el compendio de conceptos originados desde las teorías de nivel de grano grueso, medio y fino. En este sentido, se cuenta con una selección, secuenciación y temporalización de las actividades de aprendizaje, y se hace uso de las prácticas científicas, animaciones y uso de modelos para la enseñanza del tópico en consideración. No obstante, es finalmente el docente quien puede hacer buen uso de ella para elaborar el material para el estudiante.

4. PRODUCTOS DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se explicitan los resultados arrojados como producto del proceso de análisis documental de las distintas unidades de muestreo relacionadas con el diseño de la HLP de la estequiometría. En este sentido, se obtuvieron dos resultados, por un lado el marco teórico de la HLP ya mencionada, y por otro el material instruccional que además cuenta con una interfaz (<http://roosvelt7.wix.com/estequiometria>).

4.1.1 CONTEXTO DE LA PROGRESIÓN DE APRENDIZAJE	
<i>En esta sección se incluyen aquellos aspectos particulares de la Institución Educativa Rosa Zarate de Peña, que son de interés para la implementación de la presente iniciativa de investigación. Por tal razón, se hace mención de las características del currículo de ciencias, los docentes de ciencias naturales y los estudiantes</i>	
ELEMENTOS CONTEXTUALES	DESCRIPCIÓN
<i>Aspectos disciplinares, psicológicos y pedagógicos que orientan la enseñanza de las ciencias</i>	Las progresiones de aprendizaje constituyen una propuesta novedosa para el diseño de la estructura curricular, que busca contribuir en la superación de diferentes tipos de incoherencia en el currículum de ciencias. Entre ellas, se pueden mencionar los siguientes tipos de coherencia: la falta de coherencia en las metas de aprendizaje, coherencia intra unidad e inter-unidad, coherencia en los estándares de contenido, coherencia en la planeación, la enseñanza y la evaluación de los contenidos de las disciplinas, coherencia en las prácticas científicas, coherencia en el lenguaje y coherencia en el material de enseñanza. En este sentido, la propuesta estatal contemplada en los estándares básicos de competencias posee una estructura diferente, que si bien posee una organización lógica tanto vertical como horizontalmente, adolece de una adecuada secuenciación, temporalización y profundización. En cuanto a la estructura curricular de los estándares nacionales, relacionada con los conocimientos prerrequisito para el aprendizaje de la estequiometría, se observa que el estudio de la estructura, propiedades y transformaciones de la materia inicia desde la básica primaria, donde se abordan los diferentes tópicos del currículum de la ciencias desde el nivel de representación macroscópico centrado en los procesos descriptivos; luego, en los primeros años de la secundaria se comienzan a introducir actividades de aprendizaje que demandan del estudiante la interpretación de los fenómenos naturales a partir de la diferenciación e integración de los tres niveles de representación de la materia (macroscópico, submicroscópico y simbólico). Adicionalmente, se introduce al aprendiz en la utilización de los modelos teóricos a partir de los recursos multimodales¹⁷

¹⁷ El recurso multimodal es considerado como una serie de representaciones lingüísticas, las cuales representan en diferentes formatos el fenómeno bajo consideración. Por ejemplo, el lenguaje verbal y escrito; simulación; fórmulas y ecuaciones químicas; gráficos y tablas; videos, tabla periódica, entre otros (Prain & Waldrup, 2008).

<i>Aspectos disciplinares, psicológicos y pedagógicos que orientan la enseñanza de las ciencias</i>	que representan la realidad, pero no son la realidad misma. Por ejemplo, en el ciclo 6º-7º y 8º-9º se realizan actividades de aprendizaje sobre temáticas tales como: las propiedades físicas de la materia, estados de la materia, procesos de cambio físico y químico; identidad y cantidad de sustancias, entre otros. De tal manera, que los estudiantes deben explicarlas usando como herramienta los modelos de la teoría corpuscular y la subestructura atómica. Por su parte, en el ciclo de 10º-11º el nivel de complejidad de los temas que conforman el currículum, aumenta progresivamente, dado que, análogamente a lo ocurrido en ciclos anteriores, los estudiantes deben enfrentar situaciones específicas que deben ser explicadas tomando como base los modelos teóricos de las ciencias. Es así, como se incluyen tópicos como el cambio químico y los cálculos cuantitativos en reacciones químicas. Otro elemento importante dentro de la estructura del currículum estatal, está representado por los esquemas conceptuales de las ciencias¹⁸. Estos, no están expresados de manera explícita en el texto de los documentos estatales (ej., Estándares Básicos por Competencias en Ciencias Naturales), pero el docente puede deducir su existencia a partir de una lectura profunda de la literatura basada en la investigación, identificándolos detrás de líneas. A partir de lo enunciado anteriormente, puede afirmarse que el currículum institucional (planeado) viene en parte, influenciado por los marcos prescriptos por las políticas estatales. En este sentido, las últimas reformas curriculares llevadas a cabo en nuestro país¹⁹ han direccionado la manera en que se debería diseñar el currículum, la instrucción y la evaluación²⁰. Dichas reformas, han dado a las instituciones públicas a nivel nacional la autonomía para participar democráticamente en la construcción de sus propios referentes orientadores, a saber: Proyecto Educativo Institucional (PEI), Plan de estudios de cada una de las disciplinas, sistema de evaluación y proyectos transversales. Tomando como base lo dicho anteriormente, se considera pertinente secuenciar y temporalizar la estequiometría en seis sub-ideas dentro del curso de química en grado
--	--

¹⁸ Detrás de los núcleos conceptuales y tópicos de las ciencias se encuentran una serie de esquemas conceptuales cualitativos (interacción sistémica, conservación y equilibrio) y, cuantitativos (proporcionalidad, correlación y probabilidad) Pozo y Gómez (1998).

¹⁹ Los lineamientos curriculares en ciencias(1998); http://www.mineduacion.gov.co/1621/articles-89869_archivo_pdf5.pdf; los estándares básicos por competencias en ciencias (2004) http://www.mineduacion.gov.co/cvn/1665/articles-116042_archivo_pdf3.pdf; y, el Decreto 1290 de(2009),http://www.mineduacion.gov.co/1621/articles187765_archivo_pdf_decreto_1290.pdf y http://www.mineduacion.gov.co/1621/articles-213769_archivo_pdf_evaluacion.pdf

²⁰ Los estudiantes de quinto de básica primaria, noveno y once del nivel secundaria, deben de presentar anualmente, las pruebas estandarizadas *SABER*, con el propósito de monitorear las practicas educativas en todas las escuelas del territorio nacional.

<i>Aspectos disciplinares, psicológicos y pedagógicos que orientan la enseñanza de las ciencias</i>	10º, durante un lapso de ocho semanas, que pueden ubicarse en la segunda mitad del año escolar. Se ha tenido en cuenta, que para entonces los estudiantes deben haber avanzado en los temas preliminares que constituyen los conocimientos prerrequisito para el aprendizaje de la estequiometría Adicionalmente, con la intención de que los estudiantes comiencen a superar las restricciones de origen sensorial y en consecuencia, sus modelos alternativos para evolucionar hacia el lenguaje científico, se plantea la necesidad del uso de los tres esquemas conceptuales y los tres niveles de representación de la química. A partir de los antecedentes socioculturales, socioeconómicos y cognitivos de los estudiantes y teniendo en cuenta, las grandes teorías, los marcos teóricos intermedios y las herramientas de diseño, se han tomado algunas decisiones instruccionales. Respecto a la gestión y organización de la clase, se tendrán en cuenta una serie de rutinas, técnicas, estrategias como el POE y el ciclo de aprendizaje, elementos que son consistentes con la serie de actividades de enseñanza planteadas por el diseñador o profesor (ver c/u de las tablas de gestión del aula). Así pues, aquellos estudiantes que cuentan con mayores competencias científicas, comunicativas y lingüísticas, son seleccionados autónomamente por el mismo grupo de trabajo para coordinar los foros de discusión con cuatro compañeros cuyo ritmo de aprendizaje sea más lento. Con la intención de que estos últimos, vayan evolucionando de manera progresiva, en el desarrollo de su pensamiento. Hay que tener en cuenta, que un alto porcentaje de la clase, se focaliza en la estructura interactiva y dialógica, los pequeños grupos de discusión y el trabajo individual con el propósito deliberado de que los estudiantes alcancen una comprensión conceptual e integrada de los tópicos del currículo de química y desarrollen los esquemas conceptuales allí implícitos. Es de destacar, que las actividades de enseñanza en la presente progresión de aprendizaje, tendrán una estructura lógica que parte de tareas en el nivel de representación macroscópico hacia tareas pertenecientes al nivel submicroscópico y simbólico. En tal situación, el estudiante puede llevar a cabo una diferenciación e integración de los tres niveles de representación de la química. Desde luego, que muchas de estas actividades estarán centradas en las prácticas científicas, demostraciones y recursos digitales como animaciones y videos, las cuales ayudan a articular los niveles de representación de la química.
<i>Transformación del currículum estatal en un currículum</i>	Se sabe que el sistema de conocimientos, creencias y valores del profesor de ciencias ejerce una poderosa influencia en la transformación del currículum estatal en el institucional. Así pues, éste influye de forma directa en la toma de decisiones curriculares e instruccionales que lleva a cabo el profesor durante el diseño de una progresión de aprendizaje para una lección. Para ello, el docente pone en interacción elementos como

<i>planeado</i>	su sistema de conocimientos, creencias y valores; con los marcos teóricos que fundan al currículum estatal²¹, el cuerpo de conocimientos encontrados en la literatura sobre educación en ciencias y el conocimiento del contexto de la institución Educativa en estudio. Como resultado de su diseño, se obtienen los artefactos curriculares para el docente y para el estudiante, los cuales recogen aspectos como: la descripción del contexto; el análisis conceptual del contenido a enseñar; las concepciones alternativas del tópico específico, los estándares de contenido, los estándares de indagación, los desempeños de aprendizaje, las metas de aprendizaje, las ideas centrales, las preguntas orientadoras, las concepciones alternativas, las actividades de aprendizaje las estrategias pedagógicas y modelos de enseñanza de las ciencias, las formas de formular y representar el tópico, la selección de prácticas científicas alineadas con el tópico y las formas de evaluar el tema; entre otros.
<i>Caracterización de las Grandes Ideas y prácticas científicas dentro del currículum de la química</i>	La selección, secuenciación y temporalización de las grandes ideas es uno de los principios de diseño de las progresiones de aprendizaje, el cual permite organizar el currículum de ciencias de manera coherente, integrando con ello los estándares estatales, los instrumentos de evaluación, los conceptos transversales, las prácticas científicas y de ingeniería, las metas de aprendizaje, los materiales y estrategias de enseñanza, además de los desempeños de aprendizaje, en torno a conceptos fundamentales con gran capacidad explicativa, para un amplio rango de fenómenos (Shin, et al., 2009). En este sentido, la gran idea de la estequiometría, tradicionalmente ha sido considerada como un tópico fundamental, pero de gran dificultad para el aprendizaje por parte de los estudiantes (Pozo y Gómez, 1998). Aspecto que, puede mejorar significativamente gracias a la coherencia curricular de la progresión de aprendizaje dentro y a través de los grados, la cual articula además los conceptos transversales y las prácticas científicas. La gran idea de la estequiometría se divide en otras sub-ideas como son: 1. Cambio químico 2. Ley de la conservación de la masa 3. Reactivo límite 4. Rendimiento de una reacción química 5. Pureza de un reactivo químico

²¹ En este estudio se conceptualiza el currículum estatal como el cuerpo de conocimientos que subyacen a documentos, tales como: Constitución política de 1991; ley General de la Educación (Ley 115 de 1994); marco general de las ciencias naturales y educación ambiental; lineamientos curriculares del área de ciencias naturales; estándares básicos de competencia en ciencias naturales y ciencias sociales. Naturalmente, los dos primeros recogen elementos generales de las políticas educativas colombianas, en tanto, los otros abordan aspectos disciplinares, filosóficos, sociológicos, psicológicos y pedagógicos de la educación en ciencias en la escuela primaria y secundaria de Colombia.

	Por su parte los conceptos transversales son aquellas ideas que están presentes en todas las disciplinas de las ciencias y que ayudan a mantenerlas unidas. Entre ellos pueden mencionarse los patrones, estabilidad y cambio, las relaciones causa efecto, energía, sistemas, escalas, además del concepto de estructura y función (Cooper, 2013). De otro lado, las prácticas científicas, representan el modo en el que las personas dedicadas a la ciencia construyen, evalúan, comunican y razonan en torno al conocimiento científico, esperando por parte del estudiante, que se apropie de dicho esquema en busca de la alfabetización científica. Para el presente estudio se tendrán en cuenta las siguientes cuatro: modelación; obtención, organización y análisis de datos; construcción de explicaciones con base en la evidencia y diseño de investigaciones.
<i>Conocimientos prerrequisito que apoyan el aprendizaje de las grandes ideas</i>	Para lograr que los estudiantes comprendan conceptualmente la gran idea de la estequiometría, ellos deben haber construido previamente una serie de conocimientos sin los cuales sería muy difícil conseguirlo. Principalmente, el estudiante debe tener previamente un dominio mínimo de aspectos como: los núcleos conceptuales de la química la naturaleza corpuscular de la materia, la conservación de propiedades de la materia, las relaciones cuantitativas, teorías de enlace químico, tabla periódica, teoría cinética de los gases, nomenclatura química y ecuaciones químicas. Por otro lado, se debe haber logrado establecer un lenguaje común que facilite la apropiada comunicación con los aprendices, través de ella, el profesor introduce y especifica cuáles son las reglas claves para la construcción de modelos analógicos y, el lenguaje en que se representa la química. Otro de los aspectos básicos que deben ser tenidos en cuenta en esta fase de la enseñanza, es la de valorar la naturaleza abstracta y compleja de la ciencia, en la que el profesor toma elementos de la psicología cognitiva para atender las dificultades específicas que presenta el aprendizaje de la química (el conjunto de relaciones o interacciones que se deben establecer entre las características propias de la disciplina y los fenómenos, así como, la manera en que los estudiantes organizan el conocimiento). Resulta fundamental que los estudiantes a través de los diferentes grados de escolaridad hayan estudiado algunas propiedades físicas observables centradas en marcos explicativos de tipo descriptivo o fenomenológico como los son las principales clases de reacciones químicas. Adicionalmente, deben haber iniciado el desarrollo de los esquemas conceptuales de la química a nivel cualitativo, tales como: interacción sistémica, conservación de propiedades no observables, el equilibrio térmico y el esquema de la proporcionalidad directa e inversa.

<i>Tópicos con los cuales se relaciona la gran idea de la estequiometría, dentro y a través de los grados</i>	La coherencia²² como factor predictivo del desempeño de los estudiantes en pruebas estandarizadas, es un elemento de importancia capital en la estructura del currículum de ciencias. Es precisamente la falta de coherencia curricular, uno de los problemas centrales que las HLP busca resolver, al tener en cuenta la secuenciación, temporalización y edad de los estudiantes, para el diseño de las actividades de aprendizaje, dentro y a través de los diferentes grados de escolaridad. Es así, como para el desarrollo de la gran idea de la estequiometría a lo largo del proceso de formación escolar, es necesario que los estudiantes incorporen un conjunto de elementos articulados de manera pertinente. Esquema de la interacción sistémica Esquema de la proporcionalidad directa e inversa 1. Cambio químico 2. Ley de la conservación de la masa 3. Reactivo límite 4. Rendimiento de una reacción química 5. Pureza de un reactivo químico Debe decirse además, que esta progresión fundamenta su diseño en elementos tanto de la naturaleza de la química como de la psicología cognitiva, a saber: los niveles de representación de la materia (Johnstone, 2010) y, los esquemas conceptuales de esta disciplina (Pozo y Gómez, 1998). Por tanto, la interacción de estos tres componentes a lo largo del desarrollo de las actividades de aprendizaje le brindaría la oportunidad al estudiante para alcanzar una comprensión conceptual del currículum de química de grado décimo. Entre los aspectos tenidos en cuenta de la teoría cinético molecular de la materia están: • La naturaleza corpuscular de la materia. • Entre las partículas que componen la materia se encuentra un espacio vacío. • La interacción entre partículas. • Las partículas que constituyen la materia presentan movimientos intrínsecos. • Las partículas de una sustancia al interaccionar entre ellas o con otras diferentes pueden combinarse para formar otras especies de partículas que conforman una nueva sustancia. De los esquemas conceptuales de la química se han considerado: • Interacción sistémica. • Conservación de propiedades no observables de la materia.
--	--

²² Se han identificado diferentes clases de coherencia. Las principales son: coherencia en los estándares de contenido, coherencia en las metas de aprendizaje, coherencia intra-unidad, inter-unidad, coherencia en las prácticas científicas, coherencia en la evaluación, coherencia en el lenguaje (uso del lenguaje coloquial y el lenguaje formal de las disciplinas científicas) y coherencia en el material de enseñanza (Schwartz, 2008).

	• Equilibrio térmico.
<i>Metas de aprendizaje</i>	Las metas de aprendizaje, representan el conocimiento básico sobre ciencias que los estudiantes deben poseer al terminar su recorrido por las diferentes disciplinas científicas, dichas metas surgen de comparar los conocimientos disciplinares con los contenidos de los textos, las concepciones alternativas de los aprendices y el discurso propio del aula de clases. Conviene recordar, que las metas direccionan la capacidad de los estudiantes para razonar y comprender el mundo, lo cual es uno de los principales requerimientos para participar en la sociedad como ciudadanos científicamente alfabetizados (Duschl 2011). 1. Saber usar e interpretar las explicaciones científicas del mundo natural 2. Generar y evaluar la evidencia científica y las explicaciones 3. Comprender la naturaleza y desarrollo del conocimiento científico 4. Participar productivamente en el discurso y las prácticas científicas Vale la pena tener presente que las metas de aprendizaje son muy específicas, ya que no sólo indican lo que los estudiantes deben saber, sino lo que deben estar en capacidad de hacer con el conocimiento (Fortus & Krajcik, 2012).
LOS ESTUDIANTES	
<i>Antecedentes socioculturales de los estudiantes</i>	El Proyecto Educativo Institucional (PEI) de la Institución Educativa en estudio, permite evidenciar que ésta se encuentra ubicada geográficamente en la zona rural del municipio de Yumbo (Valle del Cauca), vereda Rincón Dapa. La población de estudiantes que asisten, en su mayoría son hijos de los mayordomos que trabajan en las fincas de recreo del sector, de los cuales una proporción no determinada tiene carácter itinerante y en general se encuentran estratificados en los niveles 1 y 2 del SISBEN. Dadas las características geográficas del entorno, es común que en los estudiantes que residen a mayor distancia de la Institución Educativa, se presente mayor índice de ausentismo y/o deserción escolar, debido a factores como: dificultades con el transporte, condiciones climáticas y problemas de salud principalmente. Un aspecto que se debe resaltar, tiene que ver con el limitado apoyo de los estudiantes en sus hogares para el desarrollo de actividades de refuerzo, debido a varias situaciones propias del entorno rural. Una de ellas es el bajo nivel de escolaridad de las personas que conforman el entorno familiar, lo cual en el contexto rural incide de alguna manera, a pesar del advenimiento de las TIC. Otro aspecto, tiene que ver con el tiempo que muchos estudiantes deben dedicar a tareas del campo, como aporte al trabajo familiar, lo cual va en detrimento del proceso formativo de los aprendices. Acerca de las expectativas de los estudiantes para su vida futura, puede observarse que con el pasar de los años ha aumentado el número de egresados que realiza estudios de educación superior, no obstante, a la fecha dicha proporción no supera el 30%. Una de

	las principales causas, está en la gran distancia que los separa de los centros educativos de educación superior y otra razón está en los bajos resultados en las pruebas SABER 11^o.
<i>Expectativas de los estudiantes a cerca del aprendizaje de la química</i>	Se ha evidenciado a través de la práctica áulica del profesor de química, que los estudiantes que llegan a grado décimo en esta institución educativa, cuyas edades que oscilan entre los 15 y 16 años, no han desarrollado aún un lenguaje diferenciado, amplio y jerárquico tanto en el plano de la cotidianidad como en el académico, haciendo referencia a las ciencias. Es decir, que presentan dificultades para expresarse de manera verbal y escrita de forma clara, concisa y convincente. Adicionalmente, su pensamiento está regido por reglas heurísticas²³ intuitivas mas no, por los esquemas formales que se necesitan para comprender los tópicos del currículo de la química. De ahí que, uno de los propósitos que busca el diseño, la implementación y la evaluación de la HLP es el que los estudiantes desarrollen los esquemas formales que subyacen a cada uno de los tópicos del currículo de la química con la intención de que ellos puedan darle sentido a los fenómenos naturales a partir de los modelos teóricos de las ciencias (Pozo y Gómez, 1998). Otra meta que pretenden alcanzar los profesores de ciencias con sus estudiantes, tiene que ver con el desarrollo de competencias lingüísticas y comunicativas, tales como: el lenguaje verbal, lenguaje escrito, lectura comprensiva, emisión de juicios críticos, el discurso oral o narrativo, las producciones escritas, imágenes visuales, representaciones corporales y, el lenguaje matemático de manera gradual y progresiva (NRC, 2011). Para ello, se pretende gestionar el aula, haciendo uso de los niveles de representación de la química y, del constructivismo de perspectiva sociocultural. Además de los marcos de la pedagogía general y específica a saber: rutinas, técnicas, estrategias pedagógicas y modelos de enseñanza de la ciencias (Abell, 2010). Otras de las expectativas que tienen los estudiantes frente a la enseñanza de los tópicos del currículo de la química hacen referencia a la enseñanza centrada en actividades como prácticas científicas y, en el desarrollo de la clase a partir de estructuras de gestión del aula de pequeños grupos de discusión e interactiva dialógica con toda la clase, dado que, ellos creen que estos aspectos les permite acceder al conocimiento científico con mayor efectividad. Se considera que con el propósito de mantener una estructura lógica de carácter deductivo en el cuerpo de conocimientos de este documento, se representarán en

²³ Pozo y Gómez (1998), consideran que el pensamiento concreto de los estudiantes en el nivel de escuela primaria y secundaria está signado por un conjunto de reglas heurísticas, tales como: semejanza entre causa y efecto, contigüidad espacial, contigüidad temporal, co-variación cualitativa entre causa y efecto, y, co-variación cuantitativa entre causa y efecto. En tanto que al pensamiento formal lo subyacen esquemas como: operaciones combinatorias, proporcionalidad, equilibrio, combinación de dos sistemas de referencia, correlación, compensación multiplicativa, conservación de propiedades no observables.

<i>Expectativas de los estudiantes a cerca del aprendizaje de la química</i>	primer lugar, las dificultades y limitaciones que tienen los estudiantes para aprender los tópicos del currículum de la química en términos generales y, en segundo lugar, las dificultades con las que llegan los estudiantes al aprendizaje de las cinco sub-ideas en las que se ha secuenciado y temporalizado la enseñanza y el aprendizaje de la gran idea de la estequiometría. Actualmente, la literatura basada en la investigación sobre la educación en química y especialmente, desde el marco de la psicología cognoscitiva ha dejado ver que las dificultades para el aprendizaje de la gran idea de la estequiometría, se han focalizado en dos ámbitos, a saber: pensamiento multinivel (nivel de representación macroscópico, submicroscópico y simbólico (Johnstone, 2010); alto nivel de abstracción de este núcleo conceptual; falta de desarrollo de los esquemas conceptuales de la química (Pozo y Gómez, 1998; Gabel, 1998). De hecho, cuando el profesor no es consciente de estos dos elementos, suele pasar de un nivel de representación a otro como en una especie de “gimnasia mental” sobrecargando la memoria de trabajo de los aprendices y generando una ruptura entre la información nueva y el conocimiento previo del sujeto, situación que no le permite llevar a cabo un aprendizaje por comprensión conceptual. Algunas dificultades de los estudiantes relacionadas con el aprendizaje de la estequiometría son: En lo relativo al concepto de mol • Definición compleja. Es decir, que los estudiantes no comprenden la definición y la usan de forma algorítmica para establecer una relación entre moles y masas. • El mol supone un puente entre el mundo macroscópico y submicroscópico, pero los estudiantes en la mayoría de casos no son capaces de ubicarse (Ej., no distinguen entre números de átomos y moles de átomos) (Pozo y Gómez, 1998). En lo referente al cálculo proporcional: según Piaget²⁴, el esquema de la proporción exige el dominio de las operaciones formales, lo cual en muchas ocasiones no lo consiguen los aprendices. En cuanto a los cálculos en reacciones químicas, son numerosas las dificultades que se presentan. Entre ellas, pueden mencionarse: • Usan falsas leyes de conservación de los moles • Establecen relaciones directas entre masas de los compuestos que participan en
---	--

²⁴ El esquema de la proporcionalidad, supone el conocimiento de la relación de igualdad entre dos razones, por tanto exige conocer que un cambio en un miembro de la proporción se puede compensar con un cambio en el otro miembro, sin que se modifique la igualdad entre las dos razones. Comprender esto implica el dominio de las operaciones formales (Inhelder & Piaget, 1955)

	una reacción, sin tener en cuenta los coeficientes de la reacción balanceada • No comprenden el significado químico de la reacción balanceada • No distinguen entre subíndices y coeficientes en las fórmulas o no comprenden la ley de las proporciones definidas • No diferencian los niveles de representación macroscópico y submicroscópico. • Hay una tendencia a buscar reglas simplificadoras que disminuyan la demanda de la tarea. Tal es el caso de la estrategia aditiva, consistente en comparar los miembros de dos fracciones mediante sumas y restas (Pozo y Gómez, 1998).
PROFESORES	
<i>Características de los profesores del área de ciencias</i>	En cuanto a los docentes del área de ciencias, desde la básica primaria dos de ellas cuentan con estudios de especialización en enseñanza de las ciencias naturales, lo cual representa en la práctica, algunos aportes a la formación de los aprendices. En el nivel de bachillerato, para la orientación de ciencias se cuenta con dos licenciados en biología y química. Un profesor orienta los cursos de grado 6º a 8º y el otro de 9º a 11º. El primero cuenta con estudios de especialización en TICS, lo cual le permite algunas ventajas para aprovechar mejor los recursos tecnológicos de la Institución en su práctica pedagógica. El segundo docente, ha adelantado algunos estudios en programas de maestría en química y maestría en educación con énfasis en la enseñanza de las ciencias naturales. De manera complementaria, ambos profesores se encuentran vinculados al programa nacional de educación digital para todos, conocido como TIT@, el cual resulta prometedor en lo relacionado con el uso de las herramientas digitales como recurso para mejorar las prácticas de aula. Es amplia la experiencia de los docentes del área de ciencias, tanto en la básica como en la media técnica toda vez que cada uno cuenta con más de veinte años de experiencia en el sector de la educación.
<i>Creencias y valores que tienen los profesores de ciencias a cerca de la enseñanza de la química</i>	Un aspecto que influye al momento de diseñar, implementar y evaluar la enseñanza de un tópico específico del currículo de la química para los estudiantes de la escuela secundaria, se relaciona con el sistema de conocimientos, creencias y valores sobre la disciplina, la enseñanza y el aprendizaje. Esto se debe, al efecto de los anteriores aspectos sobre la toma de decisiones curriculares e instruccionales. Debido a la diferencia en la formación académica que en su momento realizaron los docentes, con los nuevos modelos y estilos pedagógicos, sus prácticas de aula hasta tiempo reciente tenían algunas limitaciones. Entre ellas, cabe mencionar que no estaban informadas por los marcos teóricos que subyacen a la enseñanza y el aprendizaje de los tópicos del currículo de la química y la psicología cognitiva en los últimos años. De ahí,

	que en el pasado no hayan sabido tratar las grandes dificultades con que se enfrentan los estudiantes para el aprendizaje de la química a saber: los tres núcleos conceptuales²⁵; los principios, esquemas y los niveles de representación de la química; así como, las concepciones alternativas que se generan como producto de las teorías intuitivas y de sentido común. Como consecuencia, su ejercicio docente se centraba principalmente en el aspecto disciplinar, que recurría a hechos o datos, utilizando para su interpretación modelos descriptivos y simbólicos como sistemas de representación de los fenómenos cotidianos carentes de una diferenciación e integración entre ellos. Un aspecto positivo a destacar, es la flexibilidad que el cuerpo directivo de la institución le permite al maestro para llevar a cabo una transformación directa e indirecta al currículo prescrito. De modo, que el docente cuenta con suficiente autonomía para seleccionar, secuenciar y temporalizar los diferentes tópicos a enseñar durante un año académico en el diseño de su plan de estudios. Además, de representar y formular los diferentes tópicos de la química, no obstante, dicha fortaleza no ha sido aprovechada efectivamente, ya que no se cuenta con un diseño apropiado en la malla curricular del área de ciencias naturales.
RESTRICCIONES INSTITUCIONALES	
<i>Limitaciones estatales</i>	Existe una falta de coherencia entre los estándares básicos de competencias de ciencias, textos escolares y los materiales curriculares. Situación que materializa en la ausencia de coherencia intracurricular entre elementos como: metas de aprendizaje, estrategias instruccionales, los estándares estatales, los instrumentos de evaluación, los conceptos transversales, las prácticas científicas y de ingeniería, los materiales, además de los desempeños de aprendizaje. Lo anterior ha hecho que los diseñadores de políticas educativas en ciencias comiencen a formular proyectos que ayuden a superar dicha dificultad, por ejemplo, el CIER (Centro de Innovación Educativa y Regional) cuyo objetivo es integrar la tecnología digital con la disciplina y la pedagogía con el fin de diseñar objetos de aprendizaje, teniendo en cuenta la coherencia curricular dentro y a través de los grados. Tradicionalmente para el gobierno nacional el tema educativo se ha asumido económica y políticamente, lo cual se ha manifestado en los continuos recortes presupuestales. Es decir, que no se ha enfocado desde la perspectiva de la importancia que representa una población alfabetizada científicamente y tecnológicamente para el progreso de la nación, lo cual requiere mucho apoyo a la educación y la investigación. Es por lo anterior, que para el caso de la Institución Educativa Rosa Zárate de Peña, por parte de los entes gubernamentales se han presentado en los últimos años situaciones contradictorias, como exigencia de buenos resultados académicos de los estudiantes, pero falta de diligencia en muchos aspectos, entre los que cabe mencionar los siguientes:

²⁵ Cabe recordar que son tres núcleos o estructuras conceptuales a conocer: la naturaleza corpuscular de la materia, la conservación de propiedades de la materia y las relaciones cuantitativas.

	nombramiento oportuno de los docentes que se necesitan para el normal funcionamiento, asignación de las horas extra oportuna para los cargos que operan en dicha modalidad, gestión de recursos para el buen funcionamiento del restaurante escolar, etc.
<i>Número de estudiantes por salón</i>	Es común encontrar en los colegios del sector oficial, un promedio de 43 estudiantes por grado. Tal situación restringe una organización de aula por pequeños grupos de discusión y una estructura interactiva dialógica, donde el profesor requiere desplazarse por todo el espacio del aula con el fin de monitorear el nivel de comprensión o confusión de los estudiantes. De hecho, este número de estudiantes tan alto en un espacio reducido disminuye en un alto porcentaje la posibilidad de diseñar una enseñanza centrada en el estudiante. El Ministerio de Educación Nacional, en su decreto 3020 de 2002 contempla principalmente dos aspectos básicos para determinar el número de estudiantes por aula de clase. En primer lugar, plantea que el espacio mínimo para un apropiado ambiente de aprendizaje en las aulas de clase, debe ser de 1,2 metros cuadrados por estudiante en construcciones ya establecidas y 1,65 para construcciones nuevas. El segundo aspecto, tiene que ver con el número mínimo de estudiante por salón de clase cuando debe existir más de un curso por grado de escolaridad, que para la zona rural, debe ser mínimo 22 estudiantes. En el caso particular de La Institución Educativa Rosa Zárate de Peña, las aulas son relativamente pequeñas, con dimensiones promedio de 42 m² y cada una debe tener la capacidad para atender cada curso que ingresa, debido a que los estudiantes rotan por los ambientes de aprendizaje según su horario, sin permanecer en un espacio fijo. En la práctica, el grupo más pequeño puede tener 15 estudiantes y el más grande 35, sumando 10 cursos en secundaria. Siendo relativamente reducido el número de estudiantes por curso, usualmente no es común el problema de hacinamiento en los espacios de trabajo.
<i>Recursos curriculares disponibles</i>	La Institución educativa cuenta con una planta física con limitaciones de espacio, que ha sido construida en etapas de acuerdo a los aportes del estado y la empresa privada en distintas épocas. En su inicio a mediados del siglo XX, la Institución contaba con una infraestructura reducida a la instrucción en el nivel de básica primaria, que progresivamente avanzó hasta la básica secundaria a finales del mismo siglo, e iniciando el siglo XXI alcanzando la media técnica en articulación con el SENA. Por tal razón, parte de la infraestructura adolece de instalaciones eléctricas apropiadas, no se cuenta con espacios como laboratorios de física ni química. Para la realización de prácticas científicas se cuenta con algunos materiales pero son insuficientes para que puedan trabajar todos los estudiantes, así que debe trabajarse con materiales de uso cotidiano y recurrirse a demostraciones. En cuanto a los recursos tecnológicos de la información y la comunicación, hoy día se

	cuenta con algunos computadores y tablets²⁶ por cada espacio de aprendizaje, lo cual ha mejorado las condiciones de trabajo, sin embargo existen limitaciones en la conectividad que impiden el desarrollo de actividades en línea, y en general los docentes no cuentan con la suficiente cualificación para aprovechar al máximo dichos recursos. Recientemente el proyecto TIT@, ha capacitado a la cuarta parte del personal docente en el uso de herramientas tecnológicas digitales y ha dotado cinco aulas de bachillerato con suficientes computadores para el trabajo 1:1. Estos recursos, deben afectar en un futuro cercano el estilo de trabajo y puede rendir frutos si se logra mejorar en la falta de coherencia curricular.
<i>Intensidad semanal para la enseñanza de la química</i>	Según la cantidad de cursos que en cada año se logre consolidar, el consejo directivo organiza la carga académica de los dos profesores que orientan las ciencias naturales de modo que cada docente sume 22 horas de clase de 60 minutos cada una. Lo cual en promedio, arroja una intensidad de 4 horas en cada curso. De éstas, a la química se dedica semanalmente entre una hora en los grados 6º a 9º y tres horas en grados 10º y 11º. A esta cantidad de tiempo, debe restarse lo que se dedica a actividades como izadas de bandera, actividades culturales y salidas pedagógicas, reuniones sindicales, entre otras, que afectan negativamente la intensidad, la secuencialidad y el ritmo de las clases de ciencias.

²⁶ En el caso particular de la I.E. Rosa Zárate de Peña, en básica primaria cada aula cuenta con suficientes tablets para el trabajo 1:1. En básica secundaria y media técnica, las aulas que no cuentan con recursos del proyecto TIT@, disponen en promedio de 10 laptop y 20 tablets.

4.1.2 TEORÍAS DE NIVEL DE GRANO GRUESO QUE SOPORTAN EL DISEÑO DE LA PROGRESIÓN DE APRENDIZAJE DE LA GRAN IDEA DE LA ESTEQUIOMETRÍA

El marco teórico que funda a la HLP²⁷ de la estequiometría toma elementos de tres niveles de marcos teóricos, a saber: teorías del aprendizaje; teorías intermedias; y herramientas de diseño. De hecho, estos fundamentos teóricos junto con la sabiduría de la práctica informan el diseño de ambientes de aprendizaje, cuyo propósito central es el de andamiar el aprendizaje por comprensión conceptual e integrado de la gran idea de la estequiometría. En el siguiente apartado, se relacionan algunos elementos de aquellas en un nivel de grano grueso (Teoría cognitiva, teoría sociocultural y teoría del procesamiento de la información)

Aspectos claves de la HLP que será diseñada	ESPECIFICACIÓN DE LAS FASES QUE ESTRUCTURAN LA ENSEÑANZA DE LA ESTEQUIOMETRÍA	Justificación
<i>Aporte de las teorías del aprendizaje al diseño de la HLP de gran idea de la estequiometría, en un nivel de tamaño de grano grueso</i>	TEORÍA COGNITIVA (ESQUEMAS DE PENSAMIENTO) Dentro de las etapas de desarrollo concebidas por Piaget (1974), en los estratos superiores, se ubican las operaciones formales. Estas, exigen del estudiante la capacidad de realizar procesos de abstracción, tales como los requeridos para el desarrollo de cálculos cuantitativos en reacciones químicas. Sin embargo, para acceder a dicho estatus el estudiante debe haber comenzado a construir algunos esquemas de pensamiento que se deben desarrollar de manera paralela, como son: el esquema de la interacción sistémica, conservación de propiedades no observables, equilibrio térmico y la relación cuantitativa de proporcionalidad directa. Éstas son necesarias para que los aprendices puedan aprender por comprensión conceptual e integrada las diferentes sub-ideas que configuran la gran idea de la estequiometría. Sobre esta base, ellos tendrán la oportunidad de extender su comprensión acerca de que en una reacción química las moléculas de reactivo(s) interaccionan de manera sistemática debilitando y fortaleciendo de manera simultánea las fuerzas intramoleculares e intermoleculares, hecho que hace que las moléculas iniciales modifiquen su identidad, conservándose la naturaleza de los átomos. Adicionalmente, internalizarán que tanto las moléculas de los reactivos a nivel submicroscópico como la cantidad de sustancia de éstos a nivel macroscópico interaccionan de acuerdo con una relación de proporcionalidad directa, situación que se valida empíricamente por medio de la ley ponderal de la conservación de la materia.	Es sobre la base de los esquemas de pensamiento, que los estudiantes pueden construir la gran idea de la estequiometría

²⁷ La estructura general de la progresión de aprendizaje se encuentra informada específicamente por el marco de la reconstrucción educativa (Duit, 2007) y los experimentos de enseñanza (Von Aufschnaiter, 2009). Estos, se fundamentan desde una perspectiva sociocultural constructivista donde el profesor hace uso de estrategias interactivas durante la orientación de los procesos de enseñanza-aprendizaje, en busca de la comprensión conceptual e integrada de la estequiometría por parte de los estudiantes.

<i>Aporte de las teorías del aprendizaje al diseño de la HLP de gran idea de la estequiometría, en un nivel de tamaño de grano grueso.</i>	TEORÍA SOCIOCULTURAL En términos generales, esta teoría propone que el aprendizaje en un entorno social tiene dos momentos, en primera instancia tiene lugar a un nivel intermental y después a escala intramental. En este sentido, se ha comenzado a considerar que el lenguaje es un instrumento cognitivo el cual media la construcción y comunicación de la gran idea de la estequiometría en el aula de química de grado décimo. Naturalmente, esta perspectiva le brinda al aprendiz la oportunidad de desarrollar de manera subsidiaria la gran idea en consideración y las competencias lingüísticas asociadas, dado que, el estudiante al enfrentarse a una situación problemática que recoge una de las sub-ideas de la estequiometría, debe de proceder a negociar significados y formas de significar con sus pares a través de la oralidad, la lectura comprensiva y la escritura con cohesión y coherencia. Otro elemento teórico que brinda esta teoría del aprendizaje hace referencia a la zona de desarrollo proximal, que es el área comprendida entre los extremos de un continuo, que se clasifican como la serie de tareas que el estudiante puede llevar a cabo por sí solo y las tareas que realiza con la asistencia del profesor o un par adelantado. Desde luego, que este marco sumado al conocimiento de los antecedentes de los estudiantes, informa el diseño del conjunto de actividades de aprendizaje que se encuentran dentro de esta zona de desarrollo proximal, con la intención de motivar y comprometer a los estudiantes con el aprendizaje desde una perspectiva de comprensión (Vygotsky, 1962, 1978).	La interacción con otras personas no solo resulta útil para los procesos de desarrollo conceptual, sino para el diseño de los ambientes de aprendizaje de perspectiva constructivista sociocultural.
<i>Aporte de las teorías del aprendizaje al diseño de la HLP de gran idea de la estequiometría, en un nivel de tamaño de grano grueso.</i>	TEORÍA DEL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN La teoría del procesamiento de la información permite tomar decisiones de diseño en cuanto a la selección, secuenciación y temporalización de la serie de sub-ideas de la estequiometría. Para tal fin, se analiza la naturaleza y el nivel de complejidad de cada una de ellas y los esquemas conceptuales que las subyacen, con el fin de representarlas y formularlas a los estudiantes de manera progresiva, y de esta manera evitar sobrecargar la memoria de trabajo. Desde luego, que también en el diseño de las actividades de aprendizaje se toma como referencia la diferenciación e integración de los tres niveles de representación. Para ello, se parte de tareas del nivel macroscópico para moverse de forma progresiva a tareas del nivel submicroscópico, (Johnstone, 2006; McInerney & McInerney, 2006). Así pues, para tomar la decisión de secuenciar y temporalizar las cinco sub-ideas de la estequiometría se tuvo en cuenta el grado de complejidad	Considerar los mecanismos mediante los cuales los sujetos razonan, es esencial para el diseño de las lecciones en la justa medida.

	de cada una, asignando el número de horas de manera proporcional al nivel de dificultad. El orden de las sub-ideas, obedece a una secuencia seguida en nivel de complejidad creciente de la siguiente manera: <table><tr><th>SUB-IDEA</th><th>INTENSIDAD HORARIA</th></tr><tr><td>Cambio químico</td><td>6 horas</td></tr><tr><td>Ley de la conservación de la masa</td><td>6 horas</td></tr><tr><td>Reactivo límite</td><td>4 horas</td></tr><tr><td>Rendimiento de una reacción química</td><td>10 horas</td></tr><tr><td>Porcentaje de pureza</td><td>6 horas</td></tr></table>	SUB-IDEA	INTENSIDAD HORARIA	Cambio químico	6 horas	Ley de la conservación de la masa	6 horas	Reactivo límite	4 horas	Rendimiento de una reacción química	10 horas	Porcentaje de pureza	6 horas	
SUB-IDEA	INTENSIDAD HORARIA													
Cambio químico	6 horas													
Ley de la conservación de la masa	6 horas													
Reactivo límite	4 horas													
Rendimiento de una reacción química	10 horas													
Porcentaje de pureza	6 horas													

4.1.3 ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA GRAN IDEA DE LA ESTEQUIOMETRÍA PARA PROPÓSITOS CURRICULARES

Esta sección describen en un nivel intermedio, los elementos teóricos de la educación en química que sirven de orientación al docente para la toma de decisiones curriculares e instruccionales, contribuyendo al análisis conceptual de la estequiometría para establecer las ideas fundamentales y los esquemas conceptuales que la apoyan, las cuales, serán enseñadas en coherencia con la literatura basada en la investigación sobre educación en ciencias. En esta categoría se incluyen el Modelo de Reconstrucción Educativa, el desarrollo del lenguaje desde un plano social intuitivo a un plano social científico, algunas herramientas de diseño y algunos comentarios sobre los documentos estatales y textos escolares.

<i>Aporte de las teorías intermedias al diseño de la HLP de la gran idea de la estequiometría</i>	MODELO DE RECONSTRUCCIÓN EDUCATIVA Este marco constituye el nexo entre la investigación sobre educación en ciencias y la práctica pedagógica en las aulas de ciencias. En términos muy generales, contempla tres aspectos : (a) la transformación del conocimiento disciplinar científico en un conocimiento pedagógico, (b) la investigación sobre la interacción maestro-estudiante y (c) el diseño y evaluación de ambientes de aprendizaje. Estos tres ejes, sintetizan los principios para el diseño, la implementación y evaluación de una lección de un tópico específico. En este sentido, éstos han permitido seleccionar, secuenciar y temporalizar la enseñanza de la estequiometría, en cinco sub-ideas que representan una ruta progresiva para el aprendizaje por comprensión conceptual e integrada del tópico en mención (ver sección 3). Dichas sub-ideas son la base de una progresión hipotética, en función de las potencialidades crecientes de los estudiantes de educación media (Duit, 2012).	El marco teórico del modelo MER informa las diferentes intenciones de diseño de la HLP²⁸
	DESARROLLO DEL LENGUAJE DESDE LA PERSPECTIVA DE BAJTIN Dentro del contexto del aula de clase los aprendices en principio disímiles por sus características individuales, tienen cada uno niveles diferentes de dominio conceptual respecto a las sub-ideas de la estequiometría y las prácticas científicas. Como es de esperarse, ellos llegan al aprendizaje de estas sub-ideas con una serie de concepciones alternativas producto de su sistema sensorial, cultura y escolaridad. De hecho, éstas constituyen su lenguaje social intuitivo, el cual les ha servido para adaptarse a su medio y	El lenguaje como herramienta de comunicación, permite al estudiante conceptualizar la gran idea de la estequiometría, y ofrece al docente

²⁸ Con base en el marco de los estudios de diseño, la estructura de la progresión de aprendizaje hipotética busca resolver el problema de la falta de coherencia entre las metas de aprendizaje de la estequiometría, estrategias de enseñanza, conceptos transversales, prácticas científicas, desempeños de aprendizaje, materiales curriculares y preguntas orientadoras, a través de la selección, secuenciación y temporalización de las cinco sub-ideas, empleando como estrategia el ciclo de aprendizaje y como recurso comunicativo, las representaciones multinivel (Johnstone, 1982 & 2006).

	poder hacer predicciones que les han permitido controlar su realidad. Ahora bien, el diseño de ambientes de aprendizaje desde una perspectiva por comprensión conceptual e integrada, le brindan la oportunidad para que este tipo de lenguaje evolucione de manera progresiva hacia un lenguaje y forma de pensamiento más sofisticado, el cual ha venido representando los hechos y fenómenos naturales (Vygotsky, 1962).	evidencias del aprendizaje
Aspectos claves de la HLP que será diseñada	HERRAMIENTAS DE DISEÑO	Justificación
	<i>En esta categoría se incluyen las teorías en un nivel de grano fino como son: ciclo de aprendizaje, lenguaje multinivel y relación sinérgica entre los elementos del currículo de química²⁹</i>	
<i>Aporte de las herramientas de diseño para diseñar la HLP de la gran idea de la estequiometría, en un nivel de tamaño de grano fino</i>	CICLO DE APRENDIZAJE De acuerdo con la perspectiva constructivista, los procesos de aprendizaje son exitosos en la medida en la que los estudiantes logren anclar los nuevos conocimientos sobre aquello que se encuentra presente en su memoria de largo plazo. Sobre esta base, el ciclo de aprendizaje al recorrer la ruta de explorar, introducir e implementar los conceptos que conforman la gran idea de la estequiometría, busca que los aprendices puedan avanzar progresivamente hacia la comprensión conceptual e integrada del tópico. Llevado a la práctica, el ciclo de aprendizaje configura las actividades que representan y formulan a cada una de las sub-ideas, a lo largo de las siguientes fases: (a) exploración, en la cual se da la posibilidad de identificar las concepciones alternativas de la estequiometría y el esquema de la proporcionalidad directa, (b) la introducción (descripción), donde el estudiante puede reconstruir dichas concepciones permitiendo que evolucionen progresivamente, alcanzando un pensamiento más sofisticado y (c) la fase de implementación (explicación), en la cual se espera que los estudiantes estén en capacidad de aplicar los nuevos conocimientos en diferentes contextos (Bybee, 1997).	El ciclo de aprendizaje permite al diseñador secuenciar y temporalizar las actividades de aprendizaje tomando como referencia al nivel de profundidad y amplitud de la sub-idea, a lo largo de las fases de exploración, introducción e implementación
	LENGUAJE MULTINIVEL La serie de actividades de aprendizaje son diseñadas con el propósito de brindarle oportunidad al estudiante de diferenciar e integrar los tres	Como recurso de diseño, los niveles de representación, orientan las

²⁹ La relación sinérgica entre los elementos del currículo de química, hace referencia a la interrelación entre las gran idea de la estequiometría, las prácticas científicas y los esquemas conceptuales

<i>Aporte de las herramientas de diseño para diseñar la HLP de la gran idea de la estequiometría, en un nivel de tamaño de grano fino</i>	niveles de representación de la química (macroscópico, submicroscópico y simbólico). Es de observar, que esta intención de diseño se toma para evitar sobrecargar la memoria de trabajo del estudiante, en el momento en que el profesor oriente la conceptualización las sub-ideas de la estequiometría saltando de un nivel a otro como en una especie de “gimnasia mental” (Johnstone, 1982 y 2006;). Por tanto, la enseñanza de cada sub-idea inicia con una actividad del mundo macroscópico donde el estudiante comienza a construir por medio de la socialización unos “lentes conceptuales”, y continua con actividades pertenecientes a los niveles de representación submicroscópico y simbólico. Desde luego, que la investigación ha mostrado que dicha intención de diseño asiste a los estudiantes en el aprendizaje conceptual e integrado de los tópicos de la química (Candela, 2012; Candela & Viáfara, 2014).	secuencias de actividades para iniciar con el nivel macroscópico, y mediante el nivel simbólico, establecer relaciones con el nivel submicroscópico
<i>Aporte de las herramientas de diseño para diseñar la HLP de la gran idea de la estequiometría, en un nivel de tamaño de grano fino</i>	RELACIÓN SINÉRGICA ENTRE LOS ELEMENTOS DEL CURRÍCULO DE QUÍMICA La literatura basada en la investigación ha mostrado que existe una relación estrecha entre las grandes ideas de la química, los esquemas conceptuales de nivel formal y las prácticas científicas. Así pues, estos tres elementos tienen un desarrollo subsidiario donde el primero brinda la posibilidad al estudiante para desarrollar los esquemas conceptuales (ej., interacción sistémica, relación de proporcionalidad, conservación de propiedades no observables) y las prácticas científicas³⁰ en tanto que los dos restantes, permiten al aprendiz darle sentido de manera compresiva a las grandes ideas en cuestión. Con el fin de abordar esta intención de diseño se han diseñado actividades de aprendizaje apoyadas por recursos digitales como animaciones, simulaciones, laboratorios y demostraciones, las cuales recogen los tres elementos bajo consideración. Ahora bien, las cinco sub-ideas de la estequiometría formuladas con las anteriores representaciones tienen el fin el de introducir al estudiante en el desarrollo de los esquemas conceptuales. En un primer momento, el proceso se centra en el esquema de la interacción sistémica y conservación de propiedades no observables, para continuar con la implementación del esquema de la proporcionalidad directa.	Para el diseñador es fundamental relacionar apropiadamente las sub-ideas de la estequiometría con las prácticas científicas para el desarrollo paralelo de los esquemas conceptuales de la química

³⁰ Las prácticas científicas como el uso de modelos, la obtención organización y análisis de datos, la construcción de explicaciones con base en la evidencia y el diseño de investigaciones contribuyen al proceso de comprensión conceptual e integrada de las sub-ideas de la estequiometría (Fortus, *et al.*, 2006).

Análisis del contenido a los documentos curriculares e instruccionales a nivel nacional	
Aspecto	Generalizaciones Naturalísticas
<i>Núcleos conceptuales que estructuran el currículum de la química</i>	Desde el marco de la psicología cognitiva se ha propuesto que la mayoría de los contenidos científicos específicos de la química en la escuela secundaria se pueden organizar en torno a tres núcleos conceptuales que son: la naturaleza corpuscular de la materia, la conservación de propiedades no observables de la materia y las relaciones cuantitativas. De ahí, que desde esta perspectiva se considere que éstos facilitan una comprensión más adecuada de la gran mayoría de conceptos específicos de allí derivados (Pozo <i>et al.</i> , 1991; Pozo y Gómez 1998; Gómez, <i>et al.</i> , 1992; Gómez, 2006). Dichos núcleos conceptuales, deben ser abordados de acuerdo a la edad, grado de escolaridad y antecedentes socioculturales de los aprendices con el fin de permitir que avancen de manera progresiva hacia un nivel cada vez más sofisticado de pensamiento y comprensión de las ciencias.
<i>Lenguaje multinivel de la química</i>	La gran idea de la estequiometría es un tópico complejo que requiere ser secuenciado y temporalizado en cinco sub-ideas, con el propósito de que los estudiantes alcancen la meta de aprendizaje que se ha desempacado de los estándares de contenido y prácticas científicas. En este sentido, esta decisión curricular se traduciría en una serie de actividades de aprendizaje, las cuales junto con la orientación del profesor asistiría el aprendizaje por comprensión conceptual e integrada. De hecho, a través de dicha heurística el estudiante movilizaría de forma progresiva el lenguaje social cotidiano o concepciones alternativas intuitivas sobre la naturaleza, cambios y transformaciones de la materia durante las reacciones químicas, hacia un lenguaje social científico con la intención de darle sentido a los fenómenos químicos desde un razonamiento cuantitativo. Teniendo en cuenta que en el campo de la educación en ciencias se ha reconocido la diferenciación e integración de los tres niveles de representación como la manera de formular los conceptos del currículum de la química, resulta imperativo que el docente utilice dicho lenguaje durante el diseño y la implementación en la enseñanza de la gran idea de la estequiometría (Johnstone, 2010). Desde luego, que la literatura ha documentado que la manera en que el profesor represente y formule el tópico con la intención de enseñarlo influye fuertemente en el aprendizaje por comprensión conceptual, de ahí que, para que él medie dicha clase de aprendizaje debe ser consciente y sensibilizar a los estudiantes de la existencia de este lenguaje multinivel. Por tanto, el discurso empleado en la clase debe ser puesto en perspectiva, construido siempre bajo el criterio del nivel al cual pertenece, bien sea macroscópico, submicroscópico o simbólico (Pozo y Gómez, 1998).
<i>Tópicos fundamentales y prácticas científicas que permiten andamiar la</i>	El marco teórico de los enfoques de diseño, “Modelo de Reconstrucción Educativa” (Duit, 2007) y los experimentos de enseñanza (Von Aufschnaiter, 2009), ha informado la toma de decisión curricular, la cual se ha traducido en la selección, secuenciación y temporalización de la enseñanza de la gran idea de la estequiometría en sus cinco sub-ideas constituyentes. Naturalmente, éstas son representadas y formuladas por recursos curriculares fundados en la

<i>gran idea de la estequiometría</i>	diferenciación e integración de los tres niveles de representación de la química. De hecho, esta intención de diseño media la comprensión conceptual e integrada de las transformaciones ocurridas durante las reacciones químicas en términos cuantitativos, a partir de la utilización de manera consciente del lenguaje multinivel tanto del profesor como de los estudiantes. En este sentido, los anteriores presupuestos sirven de punto de referencia para transformar el currículum estatal representado en los estándares básicos de competencia de las ciencias naturales y educación ambiental, en un currículum planeado. Así pues, dicha transformación permite desempacar las anteriores ideas de la estequiometría y prácticas científicas del siguiente estándar con su respectiva acción de pensamiento: “Relaciono la estructura de las moléculas orgánicas e inorgánicas con sus propiedades físicas y químicas y su capacidad de cambio químico” (MEN, 2004); y “Realizo cálculos cuantitativos en cambios químicos” (MEN, 2004). Así, dicha toma de decisión curricular se materializa en las siguientes sub-ideas: 1. Cambio químico 2. Ley de la conservación de la masa 3. Reactivo límite 4. Rendimiento de una reacción química 5. Pureza de un reactivo químico Adicionalmente, cada una de las cinco sub-ideas que configuran la estequiometría está articulada estrechamente con una práctica científica, la cual le brinda la posibilidad al estudiante de construir la idea bajo consideración, además le permite continuar visualizando la naturaleza de las ciencias. Por ejemplo, La sub-idea del cambio químico, se articula con la práctica científica sobre la combustión del etanol. Otro aspecto que está vinculado a estas ideas hace referencia a los esquemas conceptuales de la química que fundamentan la construcción de la idea bajo consideración, a saber: interacción sistémica, conservación de propiedades no observables, equilibrio térmico y proporcionalidad (Pozo y Gómez, 1998), así que esto tienen un desarrollo alterno con las ideas.
	En el diseño de la presente progresión de aprendizaje, se toma como una de las fuentes de información el conjunto de documentos curriculares estatales cuyos marcos teóricos, direccionan de manera particular la educación en ciencias en el territorio colombiano, a saber: lineamientos curriculares en Educación en Ciencias Naturales y Educación Ambiental (MEN, 1998) y los Estándares básicos por Competencias (MEN, 2004). En éstos, se encuentra un desarrollo teórico de aspectos que juegan un papel clave en el currículum, la instrucción y la evaluación. Por ejemplo, su estructura lógica se fundamenta en elementos de orden filosófico, epistemológico, sociológico, psico-cognitivo, y pedagógico. Después de realizar un análisis documental de los estándares básicos de competencias y muestras de textos escolares, se logró evidenciar que existen fortalezas y debilidades en cuanto a la selección, secuenciación y temporalización de las sub-ideas asociadas con la

<i>Papel que juega el marco teórico que subyace a los documentos curriculares estatales en ciencias, a lo largo del diseño de la progresión de aprendizaje para la enseñanza de la estequiometría</i>	estequiometría, como se describe a continuación: Fortalezas ○ Los lineamientos curriculares fueron concebidos desde una perspectiva sociocultural constructivista, que sugiere diseñar e implementar la enseñanza del currículo de ciencias centrándose en el estudiante. También recomienda, que se evalúe el proceso de enseñanza y aprendizaje por medio de un enfoque de evaluación formativo. ○ En el texto de los lineamientos curriculares se hace mención de la importancia de las concepciones alternativas como punto de apoyo para la enseñanza de las ciencias (MEN, 1998). ○ Una de las fortalezas de los textos escolares y universitarios analizados está en la compilación de la mayoría de los conceptos, leyes y teorías que se han generado al interior del campo de la química. Los cuales, resultan útiles como marcos para ser utilizados por el diseñador o profesor, durante el diseño de la progresión de aprendizaje de la estequiometría con el fin de apoyar la toma de decisiones curriculares e instruccionales. ○ En la escritura de los textos escolares y universitarios es común encontrar representaciones multimodales. Puede mencionarse como ejemplo, el uso de textos de formato continuo y discontinuo, que representan los diferentes conceptos a través de secciones dotadas de una macroestructura y una superestructura semántica, complementándose con gráficos, tablas, modelos analógicos y simulaciones, ente otras. De tal manera, que la confluencia de esta serie de representaciones facilita la interacción entre el autor y lector. ○ Puede afirmarse, que los documentos estatales organizan el currículo de manera horizontal y vertical, con el fin de ilustrar la trayectoria conceptual que deberá recorrer el estudiante dentro y a través de los grados de escolaridad. Adicionalmente, los estándares y las acciones de pensamiento se encuentran descritos de manera coherente y toman de forma explícita o implícita las ideas fundamentales y esquemas conceptuales que configuran el currículo de ciencias naturales y educación ambiental en el territorio colombiano. ○ Los marcos de los anteriores documentos que estructuran el currículo estatal, están delimitados por intereses y metas curriculares que quizás se encuentran alineadas con las necesidades personales, locales, nacionales y globales para la formación de los ciudadanos. De ahí, que los educadores de ciencias y/o el profesor de química a través de su sistema de conocimientos, creencias y valores transforme éste en un currículo planeado, mediante la toma de decisiones curriculares e instruccionales pertinentes (Hasweth, 1985). Debilidades ○ En los materiales curriculares no se ve claramente la coherencia entre las metas de aprendizaje de la estequiometría, estrategias de enseñanza, conceptos transversales, prácticas científicas, desempeños de aprendizaje y preguntas orientadoras. ○ Las prácticas científicas no son consideradas como un medio a través del cual se construye el conocimiento, sino como el escenario donde se aplican los conocimientos previamente aprendidos. ○ En las intenciones de diseño sobre las cuales se fundamentan los estándares básicos de competencias en ciencias naturales no se hacen explícitas la diferenciación e integración de los niveles de representación de las ciencias naturales (macroscópico, submicroscópico y
--	--

<i>Papel que juega el marco teórico que subyace a los documentos curriculares estatales en ciencias, a lo largo del diseño de la progresión de aprendizaje para la enseñanza de la estequiometría</i>	simbólico). Los cuales, son necesarios para que los estudiantes alcancen una comprensión conceptual e integrada de los diferentes tópicos de la química. Se recomienda, que éstas sean secuenciadas comenzando por tareas abordadas desde el nivel macroscópico, y de manera progresiva avanzar hacia tareas pertenecientes a los niveles submicroscópico y simbólico, con el propósito de evitar saturar la memoria de trabajo de los estudiantes. ○ En los libros de texto de secundaria, no existe una apropiada selección, secuenciación ni temporalización de la enseñanza de los tópicos del currículo de la química, dentro de las cinco sub-ideas, ya que los profesores o diseñadores fundamentan su diseño desde disciplinas como la epistemología, la historia de las ciencias y la química, dejando en un segundo plano la psicología cognitiva y la pedagogía. ○ Los textos escolares y universitarios destacan los contenidos científicos, sin considerar las concepciones alternativas ni el lenguaje coloquial de los estudiantes, de modo que se dificulta cerrar la brecha entre ambos. ○ Es claro, que el cuerpo de conocimientos contenido en los documentos estatales jugaría un papel clave para la construcción de la HLP, a condición de ser complementado con un análisis de grano fino de la disciplina, fundamentado en la literatura proveniente de la investigación en educación en química y las teorías del aprendizaje. Se hace necesario entonces, establecer unilateralmente las cinco sub-ideas que conforman la gran idea de la estequiometría, con base en el conocimiento de la disciplina y los referentes de las teorías del aprendizaje pertinentes. ○ Finalmente, se evidencia que los elementos de la psicología que apoyan la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, se desarrollan a lo largo de los lineamientos curriculares colombianos. Sin embargo, éstos no aparecen de manera explícita en el cuerpo de conocimiento del documento de los estándares curriculares nacionales. Dichos componentes, se encuentran de manera latente en su estructura lógica, en forma de los tres núcleos conceptuales de las ciencias (Pozo, <i>et al.</i>, 1991; Gómez <i>et al.</i>, 1992; Pozo y Gómez, 1998), los cuales articulan los diferentes conceptos del currículo de la química³¹. Por ejemplo, en este currículo prescripto se encuentran los siguientes estándares, los cuales recogen la gran idea de la estequiometría, a saber: ○ Establezco relaciones entre las características macroscópicas y microscópicas de la materia y las propiedades físicas y químicas de las sustancias que la constituyen ○ realizo cálculos cuantitativos en cambios químicos (MEN, 2004, pp. 136-141).
--	--

³¹ A partir de la revisión de los documentos oficiales, libros de texto y artículos de investigación basados en evidencias empíricas se han asumido los contenidos conceptuales de la química, estableciéndose una estrecha interacción entre los núcleos conceptuales, los esquemas conceptuales y los niveles de representación de la química.

4.1.4 SECUENCIACIÓN, TEMPORALIZACIÓN, REPRESENTACIÓN Y ELECCIÓN DE ESTRATEGIAS PEDAGÓGICAS DE LA GRAN IDEA DE LA ESTEQUIOMETRÍA

En esta sección se presentan y justifican en un nivel de grano fino, las decisiones de diseño sobre la secuenciación y temporalización de las sub-ideas que configuran la estequiometría. Además, se seleccionan y/o diseñan las estrategias pedagógicas y formas de representar y formular dichas ideas, con el fin de brindar la oportunidad a los estudiantes de explicitar las concepciones alternativas, desarrollarlas progresivamente e implementarlas en otros escenarios.

Análisis de la lógica de la disciplina para la enseñanza con fines curriculares

El siguiente apartado recoge los principales componentes de la progresión de aprendizaje para la enseñanza de la estequiometría, discriminados para cada una de las cinco sub-ideas en las cuales se ha secuenciado la enseñanza de la estequiometría.

ESTANDAR DE CONTENIDO	ESTÁNDAR DE INDAGACIÓN	DESEMPEÑO DE APRENDIZAJE
(I) Relaciono la estructura de las moléculas orgánicas e inorgánicas con sus propiedades físicas y químicas y su capacidad de <u>cambio químico</u> *	Elaboro el modelo de la <u>reacción química</u> para explicar en términos generales, el proceso de transformación de reactivos en productos (Ej: la combustión del etanol)	Empleo modelos moleculares para explicar la manera en la cual las moléculas de los reactivos interactúan <u>transformándose</u> en otras entidades moleculares (Ej: la combustión del etanol).
(II) Establezco relaciones a nivel submicroscópico, macroscópico y simbólico, entre las cantidades de sustancia durante una transformación química, con el fin de verificar la <u>ley de la conservación de la masa</u>	Utilizo el modelo corpuscular de la materia junto al esquema conceptual de la proporcionalidad directa, como elementos para evidenciar la ley de <u>la conservación de la masa</u> (Ej: la oxidación del hierro)	Uso el modelo corpuscular de la materia junto al esquema conceptual de la proporcionalidad directa, para demostrar la ley de la <u>conservación de la masa</u> , en términos de los tres niveles de representación de la química (Ej: la oxidación del hierro).
(III) Interpreto una ecuación química a nivel macroscópico y submicroscópico, con el fin de identificar el número de moléculas, gramos y moles que intervienen en dicho proceso como reactivos y productos. Para ello, utilizo la teoría corpuscular, la mol como unidad de cantidad de sustancia y la cantidad de masa expresada en gramos para calcular el reactivo límite en una reacción química	Realizo una práctica científica con materiales de uso común, en la cual se calcule la <u>cantidad de reactivos necesarios para obtener una cantidad determinada de producto</u> . Adicionalmente, recojo, organizo y analizo los datos acerca de las muestras de reactivos y productos, en el contexto de la ley de la conservación de la masa. (ej., la reacción entre el magnesio metálico y el ácido clorhídrico)	Interpreto y analizo los datos de los reactivos y productos en términos de relaciones de proporcionalidad en gramos y moles, con el fin de comprender, tanto a escala macroscópica como submicroscópica la importancia del <u>reactivo límite</u> en una reacción química.
(IV) Aplico los conceptos básicos de las relaciones estequiométricas con el fin de calcular el <u>rendimiento</u> de una reacción química.	Explico el rendimiento de una reacción química a partir de las <u>relaciones estequiométricas</u> entre los reactivos y los productos (Ejemplo: la combustión de la gasolina)	Utilizo el modelo matemático que representa el <u>rendimiento de una reacción química</u> , con el fin de seleccionar entre distintos procesos, aquellos reacciones que son más productivas en la industria química o en la vida cotidiana (Ejemplo: la combustión de la gasolina en los vehículos)

(V)Determino el porcentaje de <u>pureza</u> de un reactivo, al confrontar la cantidad de producto que teóricamente debe formarse, con la obtenida experimentalmente.	Utilizo las relaciones estequiométricas entre reactivos y productos para determinar el <u>porcentaje de pureza</u> de uno de los reactivos (Ej.: el oro de 24 y 18 quilates)	Utilizo el modelo matemático que representa el <u>cálculo de la pureza</u> de un reactivo para determinar la cantidad de impurezas presentes en una muestra de un reactivo dado.
--	--	--

ANCLAJE INFERIOR	GRAN IDEA DE LA ESTEQUIOMETRÍA	CONCEPCIONES ALTERNATIVAS Y DIFICULTADES	META DE APRENDIZAJE	ANCLAJE SUPERIOR
La materia está constituida por un gran número de átomos y moléculas, cuales se encuentran en un perpetuo movimiento, además, experimentan diferentes tipos de fuerzas. Los modelos teóricos de la química se han construido, comunicado y validado a través de un lenguaje multinivel, que está constituido por la interacción de los siguientes niveles de representación: macroscópico, submicroscópico y simbólico. El esquema conceptual de la relación de proporcionalidad directa subyace a la comprensión conceptual e integrada de la gran idea de la estequiometría. En todas las transformaciones químicas, la cantidad de materia permanece constante, sin importar su aspecto final, por ejemplo: una aparente reducción del volumen en los productos. Los átomos y las moléculas son modelos	(1) A lo largo de la reacción química la identidad de las moléculas cambia, pero la de los átomos se conserva, como resultado del debilitamiento y fortalecimiento concomitante de fuerzas intra e intermoleculares.	En los cálculos cuantitativos es común encontrar que ante la dificultad de los estudiantes para resolver situaciones problema, ellos recurren a distintas estrategias que aunque ocasionalmente pueden funcionar, pero suelen conducir a respuestas erróneas. Las principales son: la estrategia cualitativa, la estrategia aditiva, la estrategia por correspondencia y la estrategia proporcional (ver sección 2.2.1.1.2). En general, éstas surgen de aplicar ciegamente algoritmos, sin comprender realmente los procesos que están llevando a cabo (Pozo y Gómez, 1998)	Nivel exploratorio: Identifico cambios químicos en la vida cotidiana y en el ambiente.* Nivel descriptivo: Identifico la formación de nuevas sustancias como una consecuencia de la reorganización de los átomos o las moléculas, debido al debilitamiento o fortalecimiento de fuerzas intermoleculares. Comparo mecanismos de obtención de energía en los seres vivos (6^a-7^a)*. Nivel explicativo: Explico algunos <u>cambios químicos</u> que ocurren en el ser humano.*	Con base en principios como las leyes ponderales, y las relaciones cuantitativas entre las especies de una ecuación química balanceada, es posible realizar cálculos relacionados con la masa de cualquiera de sus componentes, con sólo saber la cantidad de materia presente en alguno de los reactivos o productos. Ejercicio que puede realizarse, tanto en el plano teórico como en el experimental. En el plano teórico, es posible determinar la masa de producto formado considerando determinadas condiciones de pureza de los reactivos o teniendo en cuenta el
	(2) La ley de la conservación de la masa permite establecer que la cantidad de átomos de cada elemento, debe coincidir al comparar reactivos con productos.		Nivel exploratorio: identifico la <u>ley de la conservación de la masa</u> como fundamento del concepto de estequiometría Nivel descriptivo: Establezco el balance de la cantidad de materia entre reactivos y productos para una ecuación química, mediante los coeficientes estequiométricos apropiados. Nivel explicativo: Predigo la cantidad de masa que debe haber en los productos, a partir de la masa de los reactivos.	
	(3) El reactivo límite, permite establecer relaciones de proporcionalidad directa entre reactivos para determinar las cantidades de los productos dentro de una ecuación química.		Nivel exploratorio: Identifico el reactivo límite como referente para la realización de cálculos relacionados con la cantidad de producto formado en una reacción química Nivel descriptivo: calculo la cantidad de moles de reactivo necesarios para obtener determinada cantidad de producto. Nivel explicativo: calculo el reactivo límite para distintas tareas problema, a partir de una ecuación balanceada, bien sea que estén expresadas en moles o en gramos.	
	(4) Las relaciones estequiométricas establecidas entre reactivos y productos, permiten		Nivel exploratorio: identifico los factores que afectan la transformación de la totalidad de las moléculas de reactivos en productos en una reacción química.	

teóricos que nos han permitido explicar las transformaciones de la materia. Adicionalmente, éstos se pueden contar por medio de la unidad de cantidad de sustancia, la mol, logrando de este modo vincular el mundo macroscópico con el submicroscópico. Diferenciación e integración entre los cambios físicos y químicos a través del desarrollo de las propiedades observables y no observables (ej: identidad de las sustancias y conservación de la masa)	calcular el rendimiento de una reacción química al comparar la masa de los productos que se obtienen teóricamente, con los valores experimentales		Nivel descriptivo: a partir de la ecuación balanceada para una reacción química, determino el porcentaje de rendimiento, comparando la cantidad de producto formado según datos de tipo teórico y experimental. Nivel explicativo: determino el porcentaje de rendimiento en situaciones problema, conociendo la masa de reactivos y productos, tanto real como teórica, de acuerdo con ley de la conservación de la masa.	porcentaje de rendimiento de un sistema.
	(5) Para un sistema en equilibrio, es posible determinar el porcentaje de pureza de uno de los reactivos, si se conoce el porcentaje de rendimiento en las mismas condiciones de reacción.		Nivel exploratorio: reconozco que existen factores que afectan el rendimiento de una reacción química. Nivel descriptivo: identifico la pureza de un reactivo como una de las variables que afectan el rendimiento de una reacción química Nivel explicativo: Calculo la masa de producto formado en una reacción, teniendo en cuenta la presencia de un reactivo límite, el efecto del rendimiento de la reacción y <u>la pureza</u> de los reactivos	

*Estándares nacionales de competencias

4.2 MATERIAL INSTRUCCIONAL

Las teorías de dominio específico que configuran la HLP informaron el proceso de diseño y desarrollo del material instruccional para la enseñanza de la gran idea de la estequiometría. En efecto, a partir de los presupuestos de dichas teorías, fue posible diseñar una interfaz que recoge las cinco sub-ideas de la estequiometría (<http://roosvelt7.wix.com/estequiometria>)³², cada una de ellas discriminada en las fases de exploración, descripción y explicación; estas fases le permiten al estudiante recorrer el corredor conceptual de la estequiometría de manera progresiva. Adicionalmente, la arquitectura de dicha herramienta tecnológica fue concebida para brindar la posibilidad a los aprendices de alcanzar una comprensión conceptual e integrada del tópico en consideración con diversas actividades de aprendizaje. Por tal razón, fue dotada con animaciones y videos que contribuyen a enriquecer los procesos de conceptualización, también el desarrollo de prácticas científicas y tareas problema que suponen retos mentales ubicados dentro de la zona de desarrollo proximal de los estudiantes, entre otras. Todo ello, realizado de acuerdo a la secuencia y la temporalización pertinente para los estudiantes de grado décimo y procurando que a lo largo de toda la progresión exista coherencia intra-unidad, es decir, alineación entre: estándares de contenido, metas de aprendizaje, prácticas científicas, estrategias instruccionales, actividades de aprendizaje y evaluación.

³² El material instruccional para la enseñanza de la estequiometría, en su versión digital, cuenta con un sitio Web diseñado exclusivamente para apoyar los procesos de comprensión conceptual e integrada de la gran idea de la estequiometría (<http://roosvelt7.wix.com/estequiometria>).

Secuenciación y temporalización de las sub-ideas y actividades de aprendizaje que recogen la gran idea de la estequiometría

En esta sección se incluye en primer lugar, una breve descripción de algunos de los principales elementos que estructuran la progresión de aprendizaje, como son el anclaje inferior, las metas de aprendizaje, los desempeños de aprendizaje y el anclaje superior. Seguidamente se describe el desarrollo de las cinco sub-ideas, cada una en el nivel exploratorio, descriptivo y explicativo que se recogen en las diferentes actividades de aprendizaje.

1. Anclaje inferior

Los marcos teóricos de tamaño de grano grueso y fino han informado la toma de decisiones curriculares e instruccionales con el propósito de representar y formular cada una de las sub-ideas de la estequiometría. Adicionalmente, dichas decisiones de diseño se apoyan en elementos como conocimientos previos de los aprendices³³, conocimientos prerrequisito y concepciones alternativas, los cuales apalancan el aprendizaje de las cinco sub-ideas de la estequiometría y el desarrollo de los esquemas conceptuales que subyacen a éstas.

Los conocimientos previos permiten filtrar la nueva información y recuperar de la memoria permanente aspectos teóricos que le brinden la posibilidad al sujeto de articular la información nueva con la ya existente. En este sentido, se ha evidenciado que los estudiantes al abordar la gran idea de la estequiometría ya han comenzado a desarrollar el lenguaje multinivel y los esquemas conceptuales (según Pozo y Gómez [1998], son: interacción sistémica, proporcionalidad directa e inversa, conservación de propiedades no observables, equilibrio térmico y relaciones cuantitativas) que fundan el currículum de la química. Adicionalmente, ellos ya debieron de haber internalizado tópicos como: sustancias puras, átomo, molécula, masa atómica y molecular; cambio químico, cambio físico y cantidad de sustancia (mol).

Los conocimientos prerrequisito resultan ser esenciales dado que éstos son considerados el punto de apoyo a partir del cual el profesor y el aprendiz agencian la enseñanza y el aprendizaje de cada una de las sub-ideas de la estequiometría. Se destaca, que algunos tópicos son considerados al mismo tiempo conocimientos previos y prerrequisitos, por ejemplo, sustancia pura y cambio químico. Así que, se ha evidenciado que para un aprendizaje por comprensión conceptual e integrada de la estequiometría el estudiante debe previamente haber desarrollado los siguientes tópicos: teoría corpuscular de la materia, nomenclatura química, fórmulas químicas, ecuaciones químicas, balanceo de ecuaciones, teoría cinética de los gases y concepto de mol. Éste último merece especial atención, ya que representa el puente entre el nivel macroscópico y submicroscópico, permitiendo hipotetizar sobre algunos aspectos de los procesos químicos que no son evidentes de forma sensorial. Lo anterior,

³³ Son aquellos conocimientos que el estudiante ya tiene, relacionados con los contenidos relacionados con la estequiometría

gracias a que los fenómenos que ocurren a escala atómica, molecular y supramolecular, tienen algunas aspectos en común con el nivel macroscópico, como lo es la proporción constante que conservan todas las sustancias que están presentes tanto en los reactivos como en los productos, más conocida como leyes ponderales.

Finalmente, las concepciones alternativas juegan un papel clave en el diseño, la enseñanza y el aprendizaje de la estequiometría. De hecho, éstas son uno de los puntos de partida para el diseño de las actividades de aprendizaje, porque brindan información que le permite al diseñador ubicarlas dentro del rango de la zona de desarrollo proximal, y de esta forma poder andamiar el aprendizaje de la idea en consideración

Desde luego, que las diferentes actividades de aprendizaje han sido diseñadas, secuenciadas y temporalizadas a partir de las metas de aprendizaje, de desempeños de aprendizaje, y las concepciones alternativas de la gran idea de la estequiometría. Estas últimas, permiten proponer la serie de actividades de aprendizaje dentro de la zona de desarrollo proximal, con el fin de que los estudiantes de manera progresiva vayan internalizando cada una de las sub-ideas del tópico, además de continuar extendiendo su desarrollo de los esquemas conceptuales que subyacen a cada una de ellas. Ahora bien, algunas de las concepciones alternativas con las que llegan los estudiantes al aula de química son las siguientes:

CONCEPCIONES ALTERNATIVAS	ACTIVIDADES DE SUPERACIÓN
<i>Estrategia cualitativa</i> para resolver los problemas cuantitativos, ignorando los datos numéricos. Por ejemplo, cuando deben calcular el reactivo límite, en lugar de establecer la proporción entre los reactivos de acuerdo a sus coeficientes estequiométricos y sus masas, se guían por la sustancia minoritaria (Pozo y Gómez, 1998).	A través del desarrollo de la sub-idea sobre reactivo límite se orienta a los estudiantes acerca del sentido de la proporcionalidad directa, para identificar la sustancia que se consume totalmente en una reacción química. Como ilustración, resulta pertinente la actividad N° 3 sobre la reacción entre el magnesio el ácido clorhídrico
<i>Estrategia aditiva</i> en la identificación de las sustancias en (a) una reacción química y (b) en la realización de cálculos. Por ejemplo: en el primer caso, representando las moléculas como un conglomerado amorfo de átomos sin tener en cuenta su estructura molecular, y en el segundo, reemplazando las relaciones de proporcionalidad entre los reactivos y productos por fracciones que implican sumas y restas que no se deben aplicar (Pozo y Gómez,	A partir de la sub-idea del cambio químico (actividad N°1) y de la ley ponderal de la conservación de la masa (actividad N°2), los aprendices pueden reconstruir sus concepciones alternativas sobre la realización de cálculos estequiométricos apoyados en el esquema conceptual de la proporcionalidad directa. Particularmente, la actividad de aprendizaje sobre la combustión del etanol ilustra detalladamente su estructura molecular

1998).	y la proporción en la cual reaccionan las diferentes sustancias.
Uso de la <i>estrategia por correspondencia</i> o por construcción en la resolución de problemas. Es decir, que se establece una relación en una proporción y se hace extensiva a otras razones, a pesar de que no tenga sentido en términos matemáticos. Por ejemplo: asumir que dos sustancias en proporción 1:2, según los datos de un problema, deban conservar dicha relación cuando en la ecuación balanceada es en realidad 3:5 (Pozo y Gómez, 1998)	Mediante la implementación de la sub-idea de la ley de la conservación de la masa e ideas sub siguientes (actividades 2 a 5), queda claramente establecido el sentido matemático de los factores de conversión, para la resolución de problemas aplicando la proporcionalidad directa e inversa. Así, el ejemplo de la oxidación del hierro ilustra claramente la proporción entre las distintas sustancias, dejando claro lo particular de la estequiometría de cada sistema.
<i>Estrategia proporcional</i> . Por ejemplo: falsas leyes de conservación de los moles, confusión en el uso de coeficientes estequiométricos y subíndices, dificultad al diferenciar entre el nivel macroscópico y submicroscópico (Pozo y Gómez, 1998).	Gracias a las actividades programadas a partir de la sub-idea de cambio químico (actividad N°2), los estudiantes pueden conceptualizar las diferencias entre los distintos niveles de representación y dar sentido a las proporciones en la ecuación balanceada, diferenciando apropiadamente entre los subíndices y los coeficientes estequiométricos.

2. Metas de aprendizaje

Otro principio de diseño clave está representado por las metas de aprendizaje, las cuales surgen como producto de la comparación entre la gran idea de la estequiometría y las concepciones alternativas de los estudiantes. Éstas, ayudan al diseñador a construir las actividades de aprendizaje y a direccionar las estrategias instruccionales más ajustadas a los antecedentes socioculturales de los estudiantes. Ahora bien, las metas en lo posible deben estar estrechamente relacionadas con situaciones del mundo de la vida cotidiana de los estudiantes, o simulaciones para el caso de los conceptos más abstractos con el fin de aumentar su motivación intrínseca.

Se destaca que el aprendizaje por comprensión conceptual de las sub-ideas de la estequiometría quizás no le brinden un beneficio inmediato a los estudiantes, no obstante, éste le permite a ellos desarrollar esquemas de pensamiento formal (ej., relación de proporcionalidad) los cuales están en coherencia con formas de pensamiento más sofisticado. En este sentido, resulta enriquecedor el desarrollo de las habilidades propias de la actividad científica tales como:

- Saber usar e interpretar las explicaciones científicas del mundo natural
- Generar y evaluar la evidencia científica y las explicaciones
- Comprender la naturaleza y desarrollo del conocimiento científico
- Participar productivamente en el discurso y las prácticas científicas (Duschl, 2011)

3. Desempeños de aprendizaje

Son una serie de razonamientos y acciones inteligentes que lleva a cabo el estudiante al darle solución a una situación problema con el fin de alcanzar la meta de aprendizaje alineada con ésta. En este sentido, los desempeños de aprendizaje ilustran el estado en el cual se encuentra un estudiante dentro de su recorrido individual a través de la progresión de aprendizaje. De hecho, éstos brindan la posibilidad de realizar un acompañamiento efectivo del avance de los aprendices en su camino hacia la comprensión conceptual e integrada de la gran idea de la estequiometría (Lehrer & Schauble, 2012). Dado que, los desempeños de aprendizaje resultan de la fusión entre los estándares de contenido con los estándares de indagación, son considerados como un criterio de gran importancia para efecto de la selección, secuenciación y temporalización de las distintas actividades de aprendizaje comprendidas a lo largo de las cinco sub-ideas que configuran la enseñanza de la estequiometría. Es decir, la información contenida en éstos da luces a los expertos pedagógicos durante la toma de decisiones de diseño, las cuales se materializan en el conjunto de actividades de aprendizaje y en la selección de estrategias instruccionales.

Finalmente, los estudiantes llevarán a cabo tareas que les permitirán alcanzar una comprensión de las sub-ideas de la estequiometría y un desarrollo del pensamiento formal. Por ejemplo, ellos pueden hacer uso del modelo corpuscular de la materia junto al esquema conceptual de la proporcionalidad directa, para demostrar la ley de la conservación de la masa, en términos de los tres niveles de representación de la química. En ellas, los aprendices deben resolver tareas problema, construir modelos o proponer pequeñas investigaciones.

4. Anclaje superior

Partiendo de la concepción del anclaje superior como aquello que los aprendices deben saber y poder hacer con el conocimiento en función de la metas de aprendizaje, resulta comprensible la razón por la cual éstas representan las expectativas de la sociedad acerca de los conocimientos que los estudiantes deben alcanzar al final de la progresión de aprendizaje. En el caso de la estequiometría, el desarrollo de competencias relacionadas con un mayor nivel de razonamiento cuantitativo y abstracción le brindan a los ciudadanos la oportunidad de tomar decisiones informadas sobre aspectos tan fundamentales como su salud y su entorno, tanto a nivel local como global. En este sentido, dentro de las competencias que los aprendices deben alcanzar al final de la progresión sobre la gran idea de la estequiometría, se incluyen:

- Escribir e interpretar la ecuación química balanceada, para una determinada reacción química, tanto a nivel macroscópico como submicroscópico.
- Explicar la forma en que se cumple la ley de la conservación de la masa con base en la cantidad de materia contenida en cada una de las sustancias que participan en la reacción.
- Realizar cálculos estequiométricos entre reactivos y productos
- Identificar el reactivo límite a partir de los datos suministrados en el planteamiento del problema, usando factores de conversión.
- Determinar el porcentaje de rendimiento con base en los datos experimentales y teóricos.
- Calcular el porcentaje de pureza de uno de los reactivos, con base en los datos suministrados.

SECUENCIACIÓN DE LAS SUB-IDEAS Y ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Las diferentes actividades de aprendizaje que configuran el artefacto curricular se han secuenciado direccionadas por las metas de aprendizaje, el anclaje inferior y superior, las dificultades y concepciones alternativas de la estequiometría, y los desempeños de aprendizaje. Estos elementos, permiten tomar decisiones de diseño teniendo en cuenta la naturaleza de cada una de las sub-ideas, con el fin de brindar al estudiante la oportunidad para recorrer la progresión de aprendizaje de manera progresiva (exploratorio, descriptivo y explicativo). En este sentido, se presentan inicialmente actividades de aprendizaje enmarcadas en el nivel de representación macroscópico y de forma gradual se van moviendo hacia actividades pertenecientes a los niveles de representación simbólico y submicroscópico.

Finalmente, para cada una de las seis sub-ideas, se realizará una secuenciación y temporalización en las tres fases comprendidas en la progresión, es decir, exploración, descripción y explicación, las cuales describen los tres niveles de la progresión (Duschl, 2011; Von Aufschnaiter, 2009).

1. Cambio químico (tiempo estimado: 6 horas)

Este aspecto de la química resulta fundamental para la construcción del concepto de estequiometría, y de su apropiada comprensión por parte de los estudiantes depende el éxito de las etapas subsiguientes. La importancia de esta sub-idea, radica en el desarrollo de la capacidad para diferenciar las transformaciones que ocurren a escala submicroscópica y se manifiestan en el nivel macroscópico, mediadas por la representación simbólica.

Seguidamente, para el desarrollo de las tres fases se proponen algunos ejemplos de cambio químico que no están relacionados entre sí directamente, pero que contribuyen a conceptualizar el esquema de la conservación de propiedades no observables. Dicha selección pretende evitar que los aprendices de manera inconsciente establezcan alguna concepción alternativa que asocie el cambio químico exclusivamente con reacciones de combustión.

Así pues, se espera que a partir de cada reacción propuesta los aprendices identifiquen, entre otros aspectos, tres de ellos:

- 1) Algunas evidencias de reacción química, tales como cambios en la apariencia que no se corresponden con cambios físicos, (Por ejemplo: formación de precipitados, liberación de gases, cambio de color o textura).
- 2) Ocurre un cambio químico siempre que ocurra un cambio en la estructura molecular al comparar entre reactivos y productos.
- 3) A pesar de la transformación observada, la identidad de los átomos se conserva, aunque la identidad de las moléculas no necesariamente lo hace.

En la fase **exploratoria**, para la primera aproximación de los aprendices al concepto de cambio químico, dada la importancia de comenzar los procesos desde el nivel macroscópico, se propone como actividad inicial la observación de la reacción entre el cobre y el azufre, a manera de práctica científica.

El docente, debe tener en cuenta la posible persistencia de numerosas concepciones alternativas en los estudiantes, con relación a la actividad mencionada, como pensar que la identidad de los átomos se pierde cuando ocurre la reacción, ya en un principio la mezcla reaccionante posee color naranja y el producto formado se aprecia negro. Dichas concepciones, son usadas como herramienta de ellos para la interpretación de los fenómenos, y podrán aflorar mediante la formulación de preguntas pertinentes y oportunas. A partir del anterior ejercicio, en el transcurso de la clase interactiva, los aprendices pueden establecer relaciones entre lo que perciben sus sentidos y la explicación que ofrece la ciencia, como estrategia para la reconstrucción conceptual.

En la fase **descriptiva**, los estudiantes pueden profundizar en la conceptualización de cambio químico, observando la combustión de la vela, a través de la realización de una práctica de científica en la que puedan establecer las semejanzas y diferencias entre la combustión abierta y cerrada. A partir de dicha experiencia, el docente puede ayudar a los aprendices a identificar las sustancias producidas, como el de la formación de agua a partir de la identificación del vapor condensado en las paredes del recipiente en la combustión cerrada. Los estudiantes pueden hacer uso de la modelación como recurso para ilustrar los cambios que ocurren en la estructura molecular de los reactivos, para transformarse en productos. Para la construcción de los modelos, es necesario que se cuente con información suficiente relacionada con las características estereoquímicas de las moléculas, en procura de relacionar la estructura de las sustancias con sus propiedades físicas y químicas. Entendiendo el proceso como el debilitamiento de fuerzas intra e intermoleculares en los reactivos y el fortalecimiento de dichas fuerzas en los productos, es posible justificar la viabilidad termodinámica de la reacción, entendida como la ruptura de enlaces que liberan energía en forma de calor, para formar otros nuevos que dan lugar a productos más estables en el equilibrio final.

En la fase **explicativa**, como elemento de apoyo, los estudiantes pueden analizar detenidamente la animación digital diseñada y desarrollada por el CIER-SUR, referenciada como **AN_S_G10_U02_L02_03_02.mp4**, sobre la reacción entre el etanol y el oxígeno para formar gas carbónico más agua. Los estudiantes deberán estar en capacidad de construir modelos de estructuras moleculares para ilustrar lo que ocurre a nivel submicroscópico, como lo son los procesos de transformación de reactivos en productos, que brinden posibilidades de éxito. De esta manera, resultaría factible para ellos conceptualizar la sub-idea del cambio químico al visualizar la aproximación que hoy día se tiene desde la perspectiva de las ciencias, sobre los cambios que ocurren a escala molecular y atómica.

2. Ley de la conservación de la masa (tiempo estimado: 6 horas)

La ley ponderal de la conservación de la masa constituye la piedra angular sobre la cual se construye la gran idea de la estequiometría, ya que a partir de ésta se establecen las relaciones de proporcionalidad entre reactivos y productos. Desde luego, que esta ley le da sentido a las reacciones químicas en el plano macroscópico y submicroscópico, cuando es abordada desde el nivel representacional simbólico.

Fase Exploratoria. A lo largo de ésta el estudiante se enfrenta a una situación problema en la cual se describe el caso de un individuo que fuma una cajetilla de cigarrillos dentro de la cabina de un teleférico, la cual está representada por una actividad de aprendizaje tipo historieta, cuyo fin central es que los estudiantes logren explicitar sus concepciones alternativas. Naturalmente, que las tareas

problemas de la historieta son el medio por medio del cual ellos a discuten sobre el fenómeno en consideración. Se destaca que dichas transacciones instruccionales le permiten al estudiante comenzar a conceptualizar la ley ponderal de la conservación de la masa, tanto a nivel submicroscópico como macroscópico, situación que le servirá para apalancar el aprendizaje de las otras sub-ideas de la estequiometría.

En la fase de **descripción**, los estudiantes pueden enfrentarse a una situación problema en la cual deban comprobar que la masa total de los reactivos coincide con la masa total de los productos, para un sistema determinado puede proponerse que demuestren la ley de la conservación de la masa en la reacción de síntesis de amoníaco, a partir de nitrógeno e hidrógeno. Como material de ayuda, se hará uso de una animación que representa dicho proceso a nivel molecular

En la fase de **explicación**, puede recurrirse al POE como estrategia de enseñanza, donde los estudiantes deben predecir lo que ocurrirá al realizar una práctica científica sencilla, para proceder a introducir el concepto y luego a implementarlo. Un ejercicio, consiste en permitir que los aprendices realicen una práctica científica con elementos de la vida cotidiana para demostrar la ley de la conservación de la masa. Por ejemplo, puede pedirse a los estudiantes que mediante un trabajo colaborativo realicen el montaje para medir el cambio en la masa de una esponjilla de acero cuando se calienta para que reaccione con el oxígeno del aire. A partir de la medición de la masa antes y después de la reacción, los estudiantes pueden formular explicaciones sobre la diferencia en el cambio de la masa del producto formado. Seguidamente, los estudiantes pueden escribir la ecuación balanceada para la reacción de oxidación del hierro. Conviene, que el docente resalte el sentido que tienen los coeficientes estequiométricos para explicar la ley de la conservación de la masa

3. Reactivo límite (tiempo estimado: 4 horas)

El concepto de reactivo límite, es el punto de partida para la realización de cálculos cuantitativos en las reacciones químicas. Desde el punto de vista cognitivo, resulta para los aprendices una tarea de abstracción de gran exigencia, ya que empleando la relación de proporcionalidad directa, deben establecer relaciones de proporcionalidad entre los reactivos, a partir de las cantidades obtenidas teóricamente desde la ecuación balanceada, para luego compararlas con aquellas dadas experimentalmente e identificar el reactivo minoritario y el que se encuentra en exceso.

En el nivel **exploratorio**, a partir del material audiovisual elaborado por el CIER-SUR, referenciado como **VS_S_G10_U02_L02_03_09_Carlos_V04_(720).mp4**, el estudiante puede relacionar el concepto de mol con el cálculo del reactivo límite, a través de la demostración de la reacción entre diferentes cantidades de magnesio metálico y una cantidad constante de ácido clorhídrico, en función del volumen de hidrógeno producido y atrapado con globos.

En el nivel **descriptivo**, el estudiante a través de un trabajo colaborativo, puede realizar una práctica científica en la cual pueda dar sentido al concepto de reactivo límite, calculando la cantidad de zinc que debe reaccionar con un determinado número de moles de ácido clorhídrico para formar cloruro de zinc más hidrógeno. En el transcurso de la práctica, los aprendices deben recoger datos que serán de

utilidad para relacionar el proceso en curso en los tres niveles de representación pertinentes.

En el nivel **explicativo**, el estudiante debe estar en capacidad de resolver situaciones problema, en las cuales deba calcular el reactivo límite de manera autónoma y con el acompañamiento posterior del docente a cargo, empleando como unidad de masa tanto moles como gramos para cada uno de los distintos ejercicios propuestos.

4. Rendimiento de una reacción química (tiempo estimado: 10 horas)

Según las leyes ponderales, puede decirse que en toda reacción química las sustancias presentes tanto en los reactivos como en los productos, conservan una proporción constante a lo largo las escalas submicroscópica y macroscópica. Esto significa, que si se cuenta con una ecuación balanceada, conociendo la cantidad de alguna de las sustancias presentes el sistema, será posible calcular masa en gramos o el número de moles de cualquiera de las demás, a partir de los factores de conversión apropiados. No obstante, lo anteriormente planteado en el plano hipotético no siempre se cumple de manera fiel en la realidad, ya que muchos factores impiden que la totalidad de los reactivos se transforme en productos. Es por ello, que debe considerarse el concepto de rendimiento de una reacción, entendido como el porcentaje de producto obtenido en el equilibrio comparado con la cantidad máxima hipotética.

Durante la **exploración**, los estudiantes pueden conceptualizar la sub-idea del rendimiento de una reacción química, a partir del análisis del contenido de la animación que ilustra el proceso de combustión de la gasolina en los motores de cuatro tiempos. Allí, se ilustra de manera general la forma en la que es posible aprovechar la energía de la gasolina con mayor eficiencia generando menor contaminación al aplicar el proceso de inyección electrónica. Con base en este nuevo conocimiento, los aprendices deben escribir la ecuación balanceada que representa la combustión del isooctano y elaborar una síntesis de los factores que afectan el rendimiento de dicha reacción química entre los cuales está la sincronización del motor.

En la fase de **descripción**, los estudiantes a partir de la ecuación balanceada que representa la reacción química entre el isooctano y el oxígeno, para producir CO_2 más H_2O , deben resolver una situación problema con base en datos suministrados por el docente, en donde se evidencia la diferencia en el rendimiento de la combustión de la gasolina al comparar el proceso que ocurre en un motor alimentado vía inyección que se encuentra sincronizado, con otro que no lo está.

En la fase **explicativa**, Los estudiantes deben resolver situaciones problema en las cuales se requiere calcular el porcentaje de rendimiento de una reacción química, a partir de la ecuación balanceada y conociendo la cantidad de masa de los reactivos y producto, tanto en forma teórica como experimental.

5. Pureza de un reactivo (tiempo estimado: 6 horas)

Al final de la progresión, se desarrolla el concepto de pureza de un reactivo además de otros factores que afectan la eficiencia de una reacción química, buscando afianzar el proceso de comprensión conceptual de la gran idea de la estequiometría. En síntesis, se trata de que los aprendices integren

todas las sub-ideas en torno a un aspecto más avanzado, que se apoya en lo que ya se ha desarrollado sobre el tópico.

En el nivel **exploratorio**, resulta pertinente que los aprendices se aproximen al concepto de pureza con la ayuda de un recurso digital diseñado y desarrollado por el CIER-SUR acerca de la pureza del oro, referenciado como **VS_S_G10_U02_L02_03_10_Carlos_V02_(720).mp4**. A partir de dicha información, que puede complementarse con contenidos relacionados con otros factores que afectan el rendimiento, puede realizarse una actividad interactiva organizando los estudiantes en pequeños foros de discusión.

Durante la fase de **descripción**, los aprendices deben estar en capacidad de aplicar el concepto de pureza de un reactivo y su efecto en la eficiencia de una reacción química, a través de la resolución de ejercicios de tipo práctico. Una forma eficiente de demostrar la comprensión conceptual e integrada de dicha competencia, es la de exponer ante sus pares tal habilidad, bien sea en grupos de varios estudiantes o ante el pleno del aula de clase.

En la etapa de **explicación**, deben estar en capacidad de resolver ejercicios complejos de lápiz y papel. Éstos, involucran la ley de la conservación de la masa, el concepto de reactivo límite, la eficiencia de una reacción y la pureza de los reactivos. En este punto de la progresión, es posible aplicar un test de evaluación para retroalimentar el proceso general.

EVALUACIÓN

La evaluación formativa y la autoevaluación son los dos elementos que permiten monitorear el nivel de comprensión y confusión de los estudiantes a lo largo de la progresión de aprendizaje. Además, representan el soporte para llegar hasta el anclaje superior de la misma. En la primera, se deben tomar en cuenta todos los procesos desarrollados a través de las actividades planteadas a lo largo de las cinco sub-ideas que, han dado lugar a una valiosa retroalimentación. Por tal razón, el docente debe tomar atenta nota de los logros de los aprendices con el fin de tener en cuenta el desarrollo de las distintas competencias. En lo referente a la autoevaluación, los aprendices siendo conscientes de su dominio de las distintas sub-ideas al final de la progresión, deben estar en capacidad de emitir un juicio objetivo que complementado con la hetero-evaluación y la co-evaluación le brindan la oportunidad de tomar parte en el proceso.

Habiendo recorrido exitosamente la progresión diseñada, los estudiantes deberán estar en capacidad de resolver exitosamente las preguntas sobre estequiometría a las que deban enfrentarse en pruebas estandarizadas nacionales o internacionales. Una forma de evidenciarlo, puede plantearse realizando una evaluación con algunas preguntas como las propuestas en el material para el estudiante, cuyos resultados además resultarán útiles para complementar la evaluación de la unidad. Dicha evaluación de tipo acreditativo, puede llevarse a cabo mediante la aplicación de un test de selección.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Después de haber finalizado el proceso de diseño de la HLP para la enseñanza de la estequiometría, conviene formular una serie de conclusiones, las cuales se han generado a partir de la dinámica de este estudio. Para ello, se tomaron en consideración aspectos como: problema de investigación; objetivos; metodología del proceso de diseño de la HLP; las teorías de dominio específico que configuran la HLP; el material instruccional de la estequiometría; entre otros. En este sentido, a continuación se resumen las principales conclusiones que han resultado como fruto del diseño de la HLP para la enseñanza de la estequiometría.

En lo referente a la tarea de explicitar los elementos teóricos y metodológicos que configuran el enfoque de diseño de ambientes de aprendizaje, progresiones de aprendizaje hipotéticas, se pudo concluir que:

Si bien, las teorías del aprendizaje poseen un carácter descriptivo en la medida en que buscan explicar la manera en la cual los individuos aprenden, también contribuyen a construir teorías prescriptivas como lo son las teorías de dominio específico. Éstas últimas, tienen la facultad de direccionar la elección de los métodos instruccionales que se pueden emplear para el logro de metas de aprendizaje determinadas. De allí, que las HLP resulten útiles como herramientas para orientar las rutas que permiten a los aprendices alcanzar niveles progresivamente más sofisticados de comprensión de las grandes ideas de la ciencia.

De hecho, puede afirmarse que las HLP hoy día son un paradigma emergente dentro del campo de la educación en ciencias, resultando ser una heurística exitosa para dos aspectos relacionados con el diseño instruccional, la generación de teorías de dominio específico y la producción de materiales instruccionales con coherencia intra-unidad. Para ello, los educadores de profesores quienes han direccionado esta perspectiva de diseño desarrollaron un marco conceptual y metodológico el cual está configurado por los siguientes elementos: ideas centrales de las ciencias, anclaje inferior, anclaje superior, niveles intermedios, estándares de contenido, estándares de indagación, estándares de competencias, desempeños de aprendizaje, estrategias instruccionales y de evaluación, conceptos transversales y metas de aprendizaje (Schwartz, 2012). Desde luego, estos elementos direccionaron la toma de decisiones curriculares e instruccionales para la enseñanza de la gran idea de la estequiometría.

Así pues, para poder desarrollar los anteriores elementos que configuran toda progresión de aprendizaje, fue necesario llevar a cabo un análisis documental a la

serie de documentos que representan esta perspectiva de diseño. En efecto, esta tarea de indagación brindó la oportunidad de construir de manera sistemática el marco teórico que fundan dicha perspectiva de diseño, el cual orientó la construcción de la progresión de aprendizaje de la gran idea de la estequiometría.

Adicionalmente, este desarrollo dio lugar a una segunda fase enfocada hacia la descripción del proceso de diseño de la HLP de la estequiometría. En efecto, al recoger los fundamentos teóricos relacionados con el diseño en mención, surgió un esquema de progresión novedoso en su planteamiento al incorporar el ciclo de aprendizaje, de manera que cada una de las cinco sub-ideas de la estequiometría se subdividió en una fase exploratoria, otra descriptiva y una explicativa. De modo tal, que en su configuración se consiguió alinear el vasto conjunto de elementos provenientes de los marcos teóricos originados desde las teorías del aprendizaje, la pedagogía general, así como los marcos intermedios y de tamaño de grano fino.

Así pues, uno de los resultados del presente trabajo que representa un aporte para el campo de la educación en ciencias enfocado hacia los estudios de diseño, consiste en brindar un marco de referencia para la HLP para la enseñanza de la estequiometría. Dicha contribución, puede ser de utilidad para otros investigadores del campo del diseño instruccional, que puede de alguna manera informar el desarrollo de materiales instruccionales con coherencia intra-unidad. Lo cual, como ya se ha mencionado, es hoy día una necesidad dentro del campo de la educación en ciencias, en la búsqueda de lograr procesos de comprensión conceptual e integrada de tópicos específicos.

En cuanto a explicitar, documentar y representar a través de la HLP la serie de teorías de dominio específico que se encuentran alineadas con la gran idea de la estequiometría, se llegó a las siguientes conclusiones:

En este estudio el diseñador para ayudar a solucionar el problema de la enseñanza de la estequiometría en la escuela secundaria, seleccionó de manera deliberada una serie de elementos teóricos y metodológicos provenientes de la literatura basada en la investigación. Así pues, él indagó en los cuerpos de conocimientos que constituyen las teorías derivadas de la investigación educativa (ej., teorías del aprendizaje, pedagogía general, Modelo de Reconstrucción Educativa, uso del lenguaje desde la perspectiva de Vygotsky y Bajtín, niveles de representación de la química, relación sinérgica entre los elementos que componen la estequiometría), con el fin de sustentar la toma de decisiones curriculares e instruccionales que le brindarían la posibilidad al estudiante de alcanzar un aprendizaje por comprensión conceptual e integrada de la gran idea de la estequiometría.

Por tanto, al conjunto de proposiciones que sustentan la toma de decisiones curriculares e instruccionales para el aprendizaje de la estequiometría se le denomina teorías de dominio específico o teorías humildes, las cuales se encuentran estrechamente vinculadas con la gran idea en cuestión. Desde luego, que una característica inherente de estas teorías hace referencia al establecimiento de una relación coherente entre los elementos de la enseñanza, tales como: esquemas conceptuales de la química, gran idea de la estequiometría, conceptos transversales y prácticas científicas; situación que le confiere una coherencia intra curricular a la HLP de la estequiometría. Adicionalmente, estas teorías juegan un papel crítico durante el desarrollo del material instruccional, considerando que informan la materialización del conjunto de actividades de aprendizaje debidamente seleccionadas, secuenciadas y temporalizadas.

En este sentido, las teorías de dominio específico derivadas de los marcos teóricos de tamaño de grano grueso intermedio y fino relacionadas estrechamente con la enseñanza y aprendizaje de la gran idea de la estequiometría, configuran la toma de decisiones curriculares e instruccionales. Así pues, esta toma de decisiones, informa el diseño del material instruccional de la gran idea bajo consideración. Por ejemplo, la teoría del procesamiento de la información resultó fundamental para la dosificación de los contenidos; el constructivismo cognitivo suministró el esquema de proporcionalidad directa como elemento fundamental para la comprensión conceptual de la estequiometría; el constructivismo social permitió fundamentar el sentido del trabajo colaborativo y la negociación de significados. Por otro lado, el modelo MER iluminó la transformación de los contenidos científicos en conocimientos apropiados para la instrucción y; el uso del lenguaje desde la perspectiva de Vygotsky y Bajtín aportaron para el desarrollo en los estudiantes del lenguaje social científico a partir del lenguaje cotidiano, con la ayuda de las relaciones multinivel.

Conviene subrayar, que en la literatura existente sobre progresiones de aprendizaje no se encuentra una propuesta de formato que permita representar y documentar la teoría que funda, tanto la toma de decisiones curriculares e instruccionales, como a las intenciones de diseño. Por tal razón, se tomó la iniciativa de construirlo, a partir de los elementos de diseño propios de los enfoques relacionados con la línea de investigación de los estudios de diseño. De esta manera, ha sido posible representar el contenido teórico de la HLP para la enseñanza/aprendizaje de la estequiometría. Dicha contribución al campo del diseño instruccional, sienta un precedente dentro de la línea en mención, lo cual constituye un potencial referente para el desarrollo de trabajos similares en un futuro.

En este sentido, se formula el formato para documentar y representar la serie de teorías de dominio específico el cual consta de cuatro secciones, a saber: (1) elementos contextuales; (2) marcos de nivel de grano grueso que subyacen a las teorías sobre las HLP; (3) elección de teorías de nivel de grano medio que informar la toma de decisiones curriculares e instruccionales para el análisis conceptual de la gran idea de la estequiometría y; (4) secuenciación, temporalización y representación de las estrategias pedagógicas de la gran idea de la estequiometría.

La primera, incluyó los elementos contextuales de gran utilidad para direccionar la selección de los marcos que informarían la construcción de las etapas sucesivas de la HLP. La segunda, tuvo en cuenta los marcos de nivel de grano grueso que subyacen a las teorías sobre las HLP, que permitieron a su vez tomar decisiones en cuanto a la organización de la idea central en cinco sub-ideas (1. Cambio químico, 2. Ley de la conservación de la masa, 3. Reactivo límite, 4. Rendimiento de una reacción química y 5. Pureza de un reactivo), con lo cual se da un primer paso en la secuenciación de los contenidos de la gran idea de la estequiometría. La tercera, incluyó las teorías de nivel de grano medio que informaron la toma de decisiones curriculares e instruccionales para el análisis conceptual de la gran idea de la estequiometría; como resultado, se tomó la decisión de distribuir cada una de las sub-ideas en tres niveles de profundidad (exploratorio, descriptivo y explicativo), de esta manera el diseño del material instruccional daba un paso adelante ya que permitía que los contenidos de la idea en consideración pudiese estar al alcance epistémico de los aprendices.

Finalmente, en la cuarta sección se realizó la secuenciación, temporalización y representación de las estrategias pedagógicas de la gran idea de la estequiometría. Para comenzar, se llevó a cabo el análisis de la lógica de la disciplina para la enseñanza con fines curriculares, donde se formularon las cinco sub-ideas en función de los tres niveles de profundidad, los cuales se alinearon con los elementos de la HLP (Estándares de contenido estándares de indagación, desempeños de aprendizaje, anclaje inferior, gran idea de la estequiometría, concepciones alternativas, metas de aprendizaje y anclaje superior). Dicho marco, constituyó la base sobre la que se secuenciaron las actividades de aprendizaje y la evaluación.

En relación con la tarea de diseñar un material instruccional que brinde a los estudiantes de grado décimo, la oportunidad de comprender de manera conceptual e integrada la gran idea de la estequiometría, se ha concluido que:

La versatilidad de las HLP como herramienta de diseño, ha permitido realizar una propuesta coherente para el diseño de un material instruccional enfocado hacia la

enseñanza de la estequiometría, que en la práctica tendría una duración de ocho semanas. En este sentido, la naturaleza prescriptiva de dicho material ofrece una guía para la elección de métodos instruccionales pertinentes en las distintas actividades de aprendizaje, lo cual es un elemento de gran valor hacia el desarrollo de comprensión conceptual e integrada del tópico en mención.

Así pues, las teorías de dominio específico que fundan a la HLP de la estequiometría informan el diseño de un material instruccional, el cual se materializa a través de una interfaz. Naturalmente, que dicho material instruccional cuenta con los atributos necesarios de coherencia intra-unidad, secuenciación y temporalización, para brindar a los estudiantes la posibilidad de comprender de manera conceptual e integrada la gran idea de la estequiometría, al permitir a los aprendices realizar el recorrido conceptual desde sus conocimientos prerequisite (anclaje inferior) hasta las metas de aprendizaje (anclaje superior) pasando por los niveles intermedios.

Por tanto, las cinco sub-ideas que estructuran la gran idea de la estequiometría fueron representadas por medio de recursos digitales, tanto de acceso libre como como diseñados y desarrollados por el autor de este estudio. Así, estas representaciones constituyeron el conjunto de actividades de aprendizaje que configuran el material instruccional, el cual se materializó a través de un sitio Web cuya URL es: <<http://roosvelt7.wix.com/estequiometria>>

Como resultado, gracias a la alineación de los elementos de la HLP, los aprendices tienen la posibilidad de realizar el recorrido conceptual que inicia desde el nivel macroscópico con la ayuda de animaciones y prácticas científicas; luego, continúa en el nivel descriptivo con actividades de aprendizaje relacionadas con tareas problema y finaliza en el nivel explicativo con la aplicación del conocimiento adquirido, en diferentes contextos. De allí, que pueda considerarse que el material instruccional diseñado contiene como uno de sus atributos la coherencia intra-unidad, convirtiéndose en una herramienta para la enseñanza de la gran idea de la estequiometría, mediada por un manejo del lenguaje desde la perspectiva de las relaciones multinivel.

Es de destacar, que en la literatura relacionada con las progresiones de aprendizaje no se cuenta con un material instruccional de esta misma naturaleza para la enseñanza/aprendizaje de la estequiometría. De allí, que la presente propuesta no tenga precedentes, más allá de las HLP que se han diseñado para otros tópicos de la química. En este sentido, se espera que esta contribución en el campo del diseño de materiales instruccionales, pueda ser de utilidad para los educadores del campo de las ciencias naturales, así como los investigadores de la línea del diseño instruccional.

Finalmente, como recomendación, es válido mencionar que dentro del diseño de ambientes de aprendizaje, las HLP son una herramienta de primer orden para el diseño de materiales instruccionales. Es decir, los aprendices tienen la oportunidad de alcanzar una comprensión conceptual e integrada de tópicos específicos de las ciencias, gracias al seguimiento de los principios básicos como la coherencia intra-unidad, la consideración de los conocimientos prerequisite, la edad y el contexto de los estudiantes, en línea con las teorías de dominio específico derivadas de los distintos marcos del campo de la educación en ciencias.

6. BIBLIOGRAFÍA

- AAAS Project 2061 (2012). Benchmarks for Science Literacy; American Association for the Advancement of Science: Washington, DC, 1993. Recuperado de: <http://www.project2061.org/publications/bsl/>
- Abell, S., Appleton, K. & Hanuscin, D. L. (2010). *Designing and Teaching the Elementary Science Methods Course*, London, Routledge.
- Alonzo, A.C., & Steedle, J.T. (2009). Developing and assessing a force and motion learning progression. *Science Education*, 93, 389–421
- Amettler, L., Leach, J. & Scott, P. (2007). Using perspectives on subject learning to inform the design of subject teaching: an example from science education. *The Curriculum Journal*, 18(4), 479-492.
- Anamuah-Mensah, J. (1986). Cognitive strategies used by chemistry students to solve volumetric analysis problems. *Journal of Research in Science Teaching*, 23(9), 759-769.
- Andersson, B. (1986a). The experimental gestalt of causation: a common core to pupils' preconceptions in science. *European Journal of Science Education*, 8(2), 155-171.
- Andersson, B. (1986b). Pupils' explanations of some aspects of chemical reactions. *Science Education*, 70(5), 549-563.
- Atkin, J. M. & Karplus, R. (1962). Discovery of invention?, *Science Teacher*, 29(5), p. 45.
- Ausubel, D. P., Novak, J.D., Hanesian, H. (1978). Educational Psychology: A Cognitive View (2ª ed.). New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Bajtín, M. (1979). *Estética de la creación verbal*, México, siglo XXI.
- Bajtín, M., (1986). *The dialogic imagination: four essays*, Austin, University of Texas Press.
- Baumgartner, E. (2003). Design-Based Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry, *Educational Researcher*, 32(1), 5–8
- Brown, A.L. (1992). "Design experiments: Theoretical and methodological challenges in creating complex interventions in classroom settings" *The Journal of the Learning Sciences*, 2(2), 141-178

- Brown, A. L. & Campione, J. C. (1996). Psychological theory and the design of innovative learning environments: On *procedures, principles, and systems*. In: L. Schauble & R. Glaser (Eds.), *Innovations in Learning: New Environments for Education*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Brown, A. L. (1997). Transforming schools in to communities of thinking and learning about serious matters. *American Psychologist*, 52, 399–413.
- Bruner, J. (1985). Vygotsky: A historical and conceptual perspective. In: J. Wertsch, (Ed.), *Culture, communication and cognition: Vygotskian Perspectives*. (pp. 21-34), England, Cambridge University Press.
- Bybee, R. W. (1997). *Achieving scientific literacy: From purposes to practices*. Portsmouth, NH: Heinemann.
- Bybee, R. W., et al. (2006). *The BSCS 5E Instructional Model: Origins and Effectiveness*, Office of Science Education National Institutes of Health, Colorado Springs.
- Candela, B. F. (2012). *La captura, la documentación y la representación del CPC de un profesor experimentado y Ejemplar "acerca del núcleo conceptual de la discontinuidad de la materia* (Tesis de maestría). Universidad del valle, Cali.
- Candela, B. F. y Viáfara, R. (2014), *Aprendiendo a enseñar química: la CoRe y los Pap-eRs como instrumentos para identificar y desarrollar el CPC*, Cali, Programa Editorial Universidad del Valle.
- Candela, B. F. (2016). *La ciencia del diseño educativo*, Grupo editorial Universidad del Valle, en prensa.
- Catley, K., Lehrer, R., & Reiser, B. (2005). *Tracing a prospective learning progression for developing understanding of evolution*. Paper Commissioned by the National Academies Committee on Test Design for K-12 Science Achievement, Washington, DC National Academies.
- Christensen, T.K. (2008). The role of theory in instructional design: some views of an ID practitioner. *Performance Improvement*, 47(4), 25-32.
- Claesgens, J., Scalise, K., Draney, K., Wilson, M. & Stacy, A. (2002). Perspective of a Chemist: a Framework to Promote Conceptual Understanding of Chemistry. *Annual Meeting of the American Educational Research Association*, New Orleans, LA.
- Cobb, P., Confrey, J., DiSessa A., Lehrer R., & Schauble L. (2003). Design Experiments in Educational Research. *Educational Researcher*, 32(1), 9-13,
- Collins, A. (1992). Toward a design science of education, in E. Scanlon and T.

- O'Shea (Eds.) *New Directions in Educational Technology*. New York, Springer-Verlag.
- Collins, A., Joseph, D. & Bielaczyc, K. (2004). Design Research: Theoretical and Methodological Issues. *Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 15–42
- Cooper M., (2013), Chemistry and the Next Generation Science Standards, *J. Chem. Educ.*, 90, 679–680.
- Driver, R., Leach, J., Scott, P., & Wood-Robinson, C. (1994). Young people's understanding of science concepts: Implications of cross-age studies for curriculum planning. *Studies in Science Education*, 24, 75–100.
- Duit, R., Gropengießer, H., & Kattman, U. (2005). Towards science education research that is relevant for improving practice: The model of educational reconstruction. In: H. Fisher (Ed.). *Developing standards in research on science education: The ESERA Summer School 2004*. New York: Taylor & Francis.
- Duit, R., Gropengießer, H., Kattmann, Komorek, M., & Parchmann, I. (2012). The model of educational reconstruction – A framework for improving teaching and learning science, In J. Dillon & D. Jorde, Eds. *The world handbook of science education – Handbook of research in Europe*, (pp. 13-37). Taipei, Rotterdam, Sense Publisher.
- Duit, R., Komorek, M., & Wilbers, J. (1997). Studies on educational reconstruction of chaos theory. *Research in Science Education*, 27, 339–357.
- Duschl R., Maenga, S. & Sezen, A. (2011). Learning progressions and teaching sequences: a review and Analysis, *Studies in Science Education*, 47(2), 123–182
- Erickson, H. L. (2007). *Concept-Based Curriculum and Instruction for the Thinking Classroom*, Corwin, 189 p.
- Flavell, J.H. (1985). “*Cognitive development*” (2^a ed.), Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Flowers, C., Browder, D., Wakeman, S., & Karvonen, M. (2007). “*Links for Academic Learning: The Conceptual Framework*.” National Alternate Assessment Center (NAAC) and the University of North Carolina at Charlotte.
- Fortus, D., et al. (2006). Sequencing and supporting complex scientific inquiry practices in instructional materials for middle school students. Paper presented at *the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching*, April, 2006, San Francisco. CA.
- Fortus, D & Krajcik, J. (2012). Curriculum Coherence and Learning Progressions. In: Fraser, Fraser, B. J., Campbell, J.M., & Tobin, K. G., Eds., *The International*

- Handbook of Research in Science Education* (2nd ed.) (pp. 783-798), Dordrecht, Springer Verlag.
- Frazer, M. & Servant, D.M. (1987). Aspects of stoichiometry: where do students go wrong? *Education in Chemistry*, 24(3), 73-75.
- Gabel, D. (1998). "Complexity of Chemistry and Implications for Teaching". In: *International Handbook of Science Education Research*, B.J. Fraser & K. Tobin Eds, Kluwer Academic Publishers.
- Gómez, M. A. (2006). *Aprendizaje e instrucción en química. El cambio de las representaciones de los estudiantes sobre la materia*. Primer premio Nacional sobre Tesis Doctorales. Convocatoria de premios nacionales de investigación e innovación educativa. Ministerio de Educación Política Social y Deporte. No. 181. Colección: Investigación. España, 2006.
- Hanuscin, D., & Lee, M. H. (2008). Using the learning cycle as a model for teaching the learning cycle to preservice elementary teachers. *Journal of Elementary Science Education*, 20(2), 51–66.
- Hashweh, M. Z. (1987). Effects of subject-matter knowledge in the teaching of biology and physics. *Teaching and Teacher Education*, 3(2), 109-120
- Hoadley, C. P. (2002). Creating context: Design-based research in creating and understanding CSCL, *Proceedings of Computer Support for Cooperative Learning* (pp.453-462). (CSCL), Boulder, CO.
- Hodson, D. & Hodson, J. (1998a). From constructivism to social constructivism: A Vygotskian perspective on teaching and learning science. *School Science Review*, 79(289), 33-41
- Hodson, D. & Hodson, J. (1998b). Science education as enculturation: Some implications for practice. *School Science Review*, 80(290), 17-23
- Hopmann, S. (2000). Klafki's Model Didaktik Analysis and Lesson Planning in Teacher Education, in: Westbury, S. Hopmann y K. Riquarts (Eds.), *Teaching as Reflective Practice: the German Didaktik tradition*, (pp. 197-206). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Hopmann, S. (2007). Restrained teaching: The common core of Didaktik, *European Educational Research Journal*, 6, 109–124.
- Inhelder, B., & Piaget, J. (1985). De la lógica del niño a la lógica del adolescente. Barcelona: Paidós [original publicado en 1955].
- Jin, H. y Anderson, C.W. (2012). A Learning Progression for Energy in Socio-Ecological

- Systems, *Journal of Research in Science Teaching*, 9(49), 1149–1180.
- Johnstone, A.H. (1982). Macro and microchemistry. *School Science Review*, 64, 377-379.
- Johnstone, A.H. (2006). Chemical education research in Glasgow in perspective, *Chemistry Education Research and Practice*, 2(7), 49-63.
- Karplus, R. y Their, H. D. (1967). *A new look at elementary school science*. Chicago, IL: Rand McNally.
- Kesidou, S. & Roseman E. (2002). How Well Do Middle School Science Programs Measure Up? Findings from Project 2061's Curriculum Review. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 522–549
- Klafki, W. (1969). Didaktische Analyse als Kern der Unterrichtsvorbereitung [Educational analysis as the kernel of planning instruction]. In H. Roth & A. Blumental, Eds., *Auswahl, Didaktische Analyse* (10th edition). Hannover, Germany: Schroedel.
- Klette, K. (2007). Trends in research on teaching and learning in schools: Didactics meets classroom studies. *European Educational Research Journal*, 6, 147–160.
- Klopfer, L. E. (1983). "Research and the crisis in science education". *Science Education*. 67(3), 283-84.
- Kofka K. (1933). An unwitting self-portrait. Gainesville, FL: University of Florida
- Krajcik, J., McNeill, K. L., & Reiser, B. J. (2008). Learning-goals-driven design model: Developing curriculum materials that align with national standards and incorporate project-based pedagogy. *Science Education*, 1(92), 1-32
- Krippendorff, K. (1990). *Metodología de Análisis de Contenido*, Barcelona, Paidós.
- Lagemann, E. C. (2002). An elusive science: The troubling history of education research. Chicago: University of Chicago Press.
- Lawson, A. E., Abraham, M. R., & Renner, J. W. (1989). A theory instruction : Using the learning cycle to teach science concepts and thinkings skills . (*Monograph of the National Association for Research in Science Teaching N°. 1*) Cincinnati, OH, NARST.
- Lehrer, R., & Schauble, L. (2004). Modeling natural variation through distribution. *American Educational Research Journal*, 41, 635–679.
- Lehrer, R., & Schauble, L. (2006). Cultivating model-based reasoning in science education. In K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge handbook of the learning sciences* (pp. 371–388). New York, Cambridge, University Press.

- Lehrer, R. & Schauble L. (2012). Seeding Evolutionary Thinking by Engaging Children in Modeling Its Foundations. *Science Education*, 96(4), 701–724
- Levin, J.R., and O'Donnell, A.M. (1999). What to do about educational research's credibility gaps? *Issues in Education*, 5(2), 177-229.
- Lijnse, P. (1995). 'Developmental Research' as a way to an empirically based 'Didactical Structure' of science, *Science Education*, 79, 189–199.
- Liu, X. (2011). Developing Computer Model-Based Assessment of Learning Progression, *Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching*, Orlando, FL.
- Lucci, M. A. (2006). *La propuesta de Vygotsky: la psicología socio-histórica*. *Revista de currículum y formación del profesorado*. Recuperado de <http://www.ugr.es/local/recfpro/Rev102COL2.pdf>
- Magnusson, S., Krajcik, J., & Borko, H. (1999). Nature, source, and development of pedagogical content knowledge for science teaching. In J. Gess-Newsome, & G. Lederman, *PCK and Science Education* (pp. 95-132). Netherlands.
- McInerney, D., & McInerney, V. (2006). *Educational psychology: Constructing learning (4th ed.)*. Sydney, Australia: Pearson Educational.
- Merrit, J. D., Krajcik, J., Shwartz, Y. (2008). *Development of a Learning Progression for the Particle Model of Matter*. Recuperado de http://hice.org/presentations/documents/Merrit_et_al_ICLS_2008_vFINAL.pdf
- Ministerio de educación Nacional (MEN) (2004). *Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales*, Bogotá.
- Mohan, L., Chen, J. & Anderson, C. W. (2009). Developing a Multi-year Learning Progression for Carbon Cycling in Socio-Ecological Systems. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 675-698.
- Moriner-Dershimer, G., & Kent, T. (1999). The complex nature and sources of teachers' pedagogical knowledge. In: Gess-Newsome, J., & Lederman G. (Eds.). *Examining pedagogical content knowledge*. Kluwer Academic Publishers.
- Mortimer, Ch. E. (2001). *Química*, Ibeoamericana, Mexico.
- National Assessment Governing Board (NAGB) (2008). Science framework for the 2009 National Assessment of Educational Progress. Washington, DC: US Department of Education.

- National Research Council (NRC) (2002). *Scientific Research in Education*. Committee on Scientific Principles for Education Research. (Shavelson, R. J. & Towne, L. Eds.). Washington, DC: The National Academies Press.
- National Research Council (NRC) (2006). *Systems for State Science Assessment*. Committee on Test Design for K-12 Science Achievement. Board on Testing and Assessment, Center for Education. Division of Behavioral and Social Sciences and Education. (Wilson M.R. & Bertenthal M.W. Eds.). Washington, DC: The National Academies Press.
- National Research Council (2007). Taking science to school: Learning and teaching science in grades K–8. (R.A. Duschl, H.A. Schweingruber, & A.W. Shouse, Eds.). Washington, DC: The National Academies Press.
- Newmann, F. M., Smith, B., Allensworth, E. & Bryk, A. S. (2001). Instructional program coherence: What it is and why it should guide school improvement policy. *Educational Evaluation and Policy Analysis*, 23(4), 297-321.
- Nuthall, G. (1999). The way students learn: Acquiring knowledge from an integrated science and social studies unit. *Elementary School Journal*, 99, 303–341.
- OECD (2013). PISA (2012). Results: *What Makes Schools Successful?* Resources, Policies and Practices. (Volume IV), PISA, OECD Publishing.
- Parker, J.M., De los Santos, E.X. y Anderson C.W. (2013). What learning progressions on carbon-transforming processes tell us about how students learn to use the laws of conservation of matter and energy, *Emergent topics on chemistry education*, 24(4), 399-406.
- Perkins, D. N. (1992). Smart schools: Better thinking and learning for every child. NY, The free press.
- Piaget, J. (1955). *El nacimiento de la inteligencia en el niño*. (Trad. L. Fernández Cancela, 1969), Madrid, Aguilar.
- Piaget, J. (1974). *The child and reality: Problems of genetic psychology* (A. Rosin, Trans.). London: Frederick Miller.
- Pozo, J.I., Gómez, M.A. y Sanz A. (1992). Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia: las ideas de los adolescentes sobre la química. Madrid, Gráficas Juma
- Pozo, J.I. y Gómez, M.A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid, Morata.
- Prain, V. & Waldrip, B. (2008). A study of teacher's perspectives about using multimodal representations of concepts of enhance science learning. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Thechnology Education*, 8(1), 5-24.

- Reigeluth, C. M. (1999). What is instructional design Theory and how is it changing? In: *Instructional Design Theories and Models (Vol. II)* (pp. 4-29). Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, Mahwah.
- Roseman, J., Kesidou, S., Kurth, L. & Stern, L. (2004). *Mapping for curriculum coherence*. Symposium presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Vancouver, Canada.
- Salinas, I. (2009). *Learning progressions in science education: two approaches for development*. Paper presented at the Learning Progressions in Science (LeaPS) Conference, June 2009, Iowa City, IA. Recuperado de <http://education.msu.edu/projects/leaps/proceedings/Salinas.pdf>
- Schmidt, H.J. (1990). Secondary school students strategies in stoichiometry, *International Journal of Science Education*, 4(12), 457- 471.
- Schmidt, W. H., Wang, H. C. & Mcknight, C.C. (2005). Curriculum coherence: an examination of US mathematics and science content standards from an international perspective. *J. Curriculum Studies*, 37(5), 525–559
- Shulman L. S. (1987). Knowledge and Teaching. "Foundations of the New Reform". *Harvard Educational Review*, 57, 1-22.
- Shwartz, Y, et al. (2008). *Middle School Science Curriculum: Coherence as a Design Principle*. A paper presented at the annual meeting of the National Association of Research in Science Teaching, Baltimore. Recuperado de: <http://www.umich.edu/~hiceweb/PDFs/2008/Shwartz%20et%20al%20coherence.pdf>
- Smith, C., Wiser, M., Anderson, C., & Krajcik, J. (2006). Implications of research on children's Learning for assessment: Matter and atomic molecular theory. Measurement: *Interdisciplinary Research and Perspectives*, 4, 11–98.
- Stevens, S.Y., Delgado, C., y Krajcik, J. (2010). Developing a Hypothetical Multi-Dimensional Learning Progression for the Nature of Matter, *Journal of Research in Science Teaching*, 6(47), 687–715.
- Takahira, S., Gonzales P., Frase M. & Hersh L. (1998). *Pursuing excellence A study of U.S. twelfth-grade Mathematics and science achievement In international context Initial findings*. National Center for Education Statistics Office of Educational Research and Improvement U.S. Department of Education, Washington, DC. Recuperado de <http://nces.ed.gov/timss>
- Treagust, D.F., y Duit, R. (2008). Conceptual change: A discussion of theoretical, methodological and practical challenges for science education. *Cultural Studies in Science Education*, 3, 297–328.

- Vygotsky, L. S. (1962). *Thought and language* (E. Hanfmann & G. Vakar, Trans.). Cambridge, MA: MIT Press.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. London: Harvard University Press.
- Von Aufschnaiter, C., Erduran, S., Osborne, J., & Simon, S. (2008). Arguing to learn and learning to argue: Case studies of how students' argumentation relates to their scientific knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 45, 101–131.
- Von Aufschnaiter, C. (2009). Misconceptions or missing conceptions? Keynote speech at the biannual conference of the European Science Education Research Association (ESERA), Istanbul, Turkey.
- Von Aufschnaiter, C., & Rogge, C. (2010). Misconceptions or missing conceptions? Eurasia, *Journal of Mathematics Science & Technology Education*, 6, 3–18.
- Wiley, D. A. (2000). *Learning object design and sequencing theory*. (Doctoral dissertation) Brigham Young University: <http://davidwiley.com/papers/dissertation/dissertation.pdf>