

# SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE COMPUESTOS DE COORDINACIÓN: UNA EXPERIENCIA DE APRENDIZAJE POR INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA INORGÁNICA

## SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF COORDINATION COMPOUNDS: AN EXPERIENCE OF LEARNING BY RESEARCH IN INORGANIC CHEMISTRY

J-G. Carriazo \*  
D. Pérez-Sotelo, A. Ensuncho-Muñoz\*\*

### RESUMEN

El presente trabajo muestra los resultados exitosos en el desarrollo de un curso de laboratorio de química inorgánica mediante la implementación del modelo de Aprendizaje por Investigación, como una estrategia integradora de conocimientos que permite a los estudiantes el desarrollo de competencias de reconocimiento, interpretación y producción relacionadas con los procesos de síntesis de compuestos de coordinación de interés en el área de la química inorgánica. El desarrollo riguroso de la metodología científica condujo a la comprensión y aplicación de las teorías de enlace de valencia y orbital molecular, la teoría de coordinación de Werner y la teoría de campo cristalino; como también principios de simetría, teoría de grupos y espectroscopía infrarroja, IR.

**Palabras clave:** Compuestos de coordinación, aprendizaje por investigación.

### ABSTRACT

This paper shows the successful results in the development of a laboratory course of Inorganic Chemistry by means of the implementation of the Learning by Research Model, as an appropriate methodology for the integration of concepts that lets the development of recognition, interpretation and production competences related with the synthesis processes of interesting coordination compounds in Inorganic Chemistry. Strict Development of the scientific methodology led to the comprehension and application of the Valence Bond Theory, Molecular Orbital Theory, Werner's Coordination Theory and the Crystal Field Theory, as well as some principles of Symmetry, Group Theory and Infrared Spectroscopy.

**Key words:** Coordination compounds, learning by research.

\* Profesor del Departamento de Química, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, jcarriazos@unal.edu.co

\*\* Profesor del Departamento de Química, Universidad de Córdoba. Montería, Colombia.

## INTRODUCCIÓN

El aprendizaje humano es uno de esos fenómenos que difícilmente puede ser definido. Más aún, cualquier conceptualización expresada mediante definiciones y términos resulta evidentemente insuficiente para satisfacer a las comunidades de usuarios de este concepto (Zapata et al., 2003). Durante los últimos años, se ha desarrollado un movimiento significativo para reformar la educación en ciencias como respuesta a la necesidad creciente de una ciudadanía científicamente instruida, que es preparada para una sociedad democrática, globalmente competitiva y tecnológicamente avanzada (Rule, 2002). En un esfuerzo para orientar esta transformación se han desarrollado estándares y *benchmarks* para la educación en ciencias a partir de investigaciones y modelos sobre el aprendizaje humano (Rule, 2002). Uno de éstos es el modelo constructivista, cuya aceptación es creciente desde hace algunos años, pasando a hacer parte de la conceptualización de muchos docentes en ciencias. Sin embargo, la puesta en práctica de este modelo educativo a nivel universitario no es usual, aunque sobre él muchos manifiesten tener pleno conocimiento y alta capacidad argumentativa (Campanario, 1999).

El modelo constructivista tiene sus orígenes en los trabajos de Jean Piaget, quien consideró que el desarrollo intelectual es el resultado de factores hereditarios y ambientales, de tal manera que una persona interactúa constantemente con el mundo que lo rodea construyendo y reconstruyendo su propio conoci-

to. Una tendencia actual fundamentada en el modelo constructivista la constituye el Aprendizaje por Investigación, que soporta su metodología en la estrategia de resolución de problemas (Ramírez y González, 2003; Carriazo y Saavedra, 2004). En la actualidad, la Enseñanza y Aprendizaje por Investigación constituye una línea de investigación en Didáctica de las Ciencias, que propone abordar un conjunto de contenidos curriculares mediante una serie de actividades y situaciones “problemáticas” de interés para los estudiantes que conlleven a re-construir su propio saber mediante el desarrollo de proyectos de aula (Carriazo y Saavedra, 2004; Salcedo et al., 2003). Los problemas planteados, con sus limitaciones, constituyen una buena aproximación al trabajo científico, permiten relacionar los conceptos teóricos con algunas de sus aplicaciones prácticas y ayudan a transferir los conocimientos escolares a ámbitos más cotidianos (Pozo y Gómez, 1998).

La enseñanza y aprendizaje por investigación trata de unir las situaciones de enseñanza-aprendizaje con el modo como se construye el conocimiento científico, que tiene exigencias metodológicas y epistemológicas a las que es preciso prestar atención. Una de ellas es la revisión y reorientación de las prácticas de laboratorio para que dejen de ser una mera ilustración de los conocimientos transmitidos y pasen a constituir situaciones semejantes a las actividades de investigación. El desarrollo de las prácticas de laboratorio constituye una problemática didáctica desde el punto de vista de las concepciones que sobre ellas tenga el docente. Las

prácticas de laboratorio siguen siendo útiles y necesarias, sin embargo debe hacerse uso racional y estratégico de éstas. Para ello debe tenerse claro para qué se realizan, cuál es la finalidad de su realización, además de un conocimiento profundo sobre los fenómenos en estudio que permita orientar las actividades de aprendizaje de los estudiantes.

Estudios recientes (Salcedo y Rivera, 2004) revelan incoherencias metodológicas en el desarrollo de las prácticas de laboratorio en el Programa de Licenciatura en Química de la Universidad Pedagógica Nacional, (Bogotá), con respecto a lo que se propone en el proyecto curricular. Estos autores revelan que los documentos estudiados no aportan datos que permitan caracterizar el trabajo previo del profesor para que los estudiantes efectivamente propongan actividades experimentales coherentes con un proceso formativo en términos de resolución de problemas. La investigación de Salcedo y Rivera (2004), además, encuentra el uso destacado de guías de laboratorio definidas típicamente como tradicionales y otras que tratan de insertar las prácticas de laboratorio dentro de un proceso de resolución de problemas. Lo anterior revela la dificultad de introducir el Aprendizaje por Investigación como una estrategia didáctica para el desarrollo de las prácticas de laboratorio.

Pero, ¿Son las guías de laboratorio (sean de corte constructivista o no) una buena estrategia para implementar metodologías de aprendizaje por investigación? A nuestro juicio no lo son, puesto que a similitud del trabajo científico, el estudiante,

actuando como investigador (bajo actividades orientadas por el docente), no debe poseer guías de trabajo que lo induzcan a resolver un problema, puesto que en el trabajo científico real no las hay. Más bien, el estudiante debe delimitar su problema, construir hipótesis fundamentadas en la literatura científica, diseñar experimentos, obtener resultados y poner en juego su capacidad de análisis. Sin embargo, esto tal vez no pueda lograrse con facilidad en cualquier nivel, sino que sería un “estadio superior” de la implementación de este modelo de aprendizaje, en el que, en el caso de estudiantes de ciencias y particularmente de química, el individuo requiere de ciertas competencias prácticas que le permitan construir, manipular y dirigir adecuadamente el experimento hacia la comprobación de sus hipótesis. De este modo, el empleo de guías de laboratorio (de corte constructivista) será útil en una fase inicial del aprendizaje de la química, en el que más allá del aprendizaje de conceptos se pretendan objetivos “instrumentales” hacia el desarrollo de habilidades prácticas y la formación de competencias en la experimentación química.

En el presente artículo se muestra el desarrollo de las prácticas de laboratorio de un grupo de estudiantes de la asignatura Química Inorgánica III, de la Universidad Nacional de Colombia, mediante la implementación del modelo de Aprendizaje por Investigación. El trabajo se centró en desarrollar la síntesis de compuestos de coordinación cuya estructura y propiedades, más allá de su importancia industrial, permiten entender y aplicar un amplio entramado conceptual que comprende, entre otros,

conceptos de simetría y teoría de grupos, teoría de enlace de valencia, teoría de orbital molecular, teorías de campo cristalino y campo ligando, propiedades espectroscópicas, propiedades magnéticas y variables termodinámicas de síntesis.

### METODOLOGÍA

El trabajo se desarrolló mediante la observación de las actividades de laboratorio de cincuenta estudiantes de la asignatura Química Inorgánica III, de la carrera de Química de la Universidad Nacional de Colombia, durante un semestre académico. A cada grupo, compuesto por dos estudiantes, se les asignó una temática a desarrollar, en la que debían proponer, de manera justificada, la síntesis de uno o más compuestos de coordinación de interés académico e industrial. Esto implica la delimitación del problema y el planteamiento de hipótesis sobre los procedimientos viables de síntesis y caracterización de los compuestos obtenidos mediante el uso de argumentos termodinámicos e inorgánicos soportados en la literatura (artículos de revistas especializadas), como también argumentos técnicos y económicos. Los temas asignados, que guardan relación con el curso teórico de Química Inorgánica III, son: penta y hexacianocomplejos, termocromos, sales, compuestos encapsulados, ftalocianinas y magnetismo. Este último implica la síntesis de “compuestos patrones” para la realización de medidas de susceptibilidad magnética.

Antes de iniciar las actividades prácticas, los estudiantes deben elaborar un

pequeño proyecto en el que proponen y justifican los compuestos a sintetizar y los procedimientos a desarrollar. La propuesta se somete a discusión con los docentes encargados de la asignatura práctica.

Durante el desarrollo de las actividades de laboratorio los estudiantes deben registrar sus experiencias y resultados en una libreta de apuntes, de manera rigurosa (fecha, procedimientos realizados, observaciones, etc.), como cualquier investigador científico. El profesor revisa, discute y orienta los procedimientos que se desarrollan. Al cabo de la novena semana de trabajo, cada grupo realiza un seminario de treinta minutos con el fin de socializar y discutir sus resultados con el resto de estudiantes y profesores, quienes actúan como “pares académicos”. Así mismo, deben entregar un informe de avances de su trabajo. Finalmente, en la semana dieciséis cada grupo debe presentar nuevamente un seminario de veinte minutos y un informe final de actividades. Los informes se presentan a manera de artículos, con una extensión máxima de cinco páginas y acorde con las normas y exigencias de la literatura científica. Se acordó presentar los informes según las normas de la revista “*J. Chem. Soc., Dalton Trans*”.

Los diferentes compuestos obtenidos se caracterizaron por técnicas como espectroscopía infrarroja, IR, espectroscopía ultravioleta-visible (UV-Vis) y susceptibilidad magnética.

Finalmente, la información de este estudio se recoge de la observación del trabajo de laboratorio, del análisis de informes, del cuaderno de apuntes, de las

discusiones de seminarios y del diálogo directo con los estudiantes.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

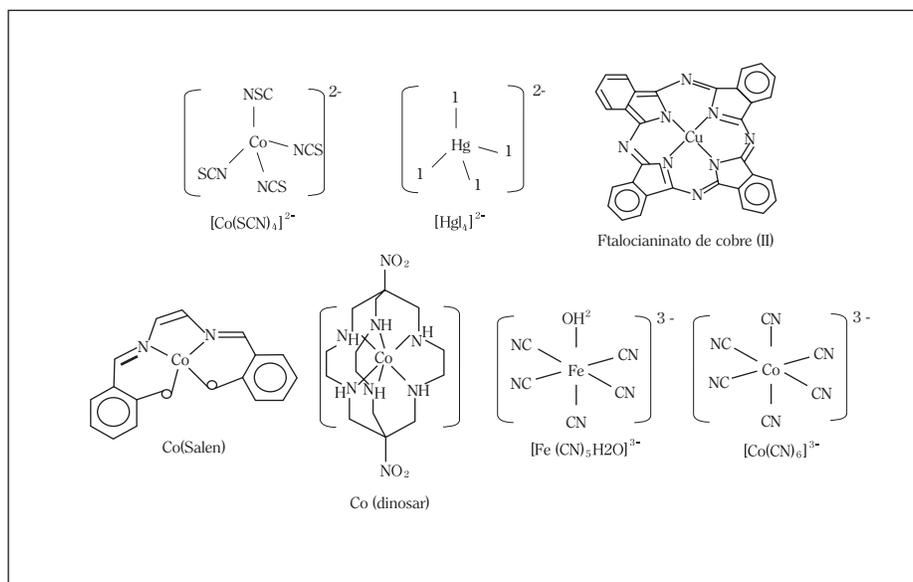
En principio, las propuestas de los estudiantes revelaron planteamientos coherentes, aunque en su mayoría requerían ajustes en su parte procedimental. Se observó un marcado interés por una revisión seria de la literatura que condujo a las síntesis planteadas. Hay que resaltar que en nuestro medio existe un acceso limitado a las revistas internacionales de carácter especializado. La tabla 1 presenta, en términos generales, las principales

fuentes bibliográficas reportadas en los informes finales de los estudiantes.

La figura 1 muestra las estructuras de los principales compuestos de coordinación sintetizados. Cabe resaltar que cada informe presentado por los grupos de trabajo justifica las diferentes estructuras propuestas a partir de la caracterización por IR, UV-vis y medidas de susceptibilidad magnética. Además de estas técnicas, también se reporta la determinación de propiedades como punto de fusión o de descomposición, solubilidad, propiedades organolépticas y determinación de carga catiónica mediante resina de intercambio.

Fuente bibliográfica	Trabajos que la reportan (%)
Textos especializados en química inorgánica	100
Tesis o trabajos de grado	24
<b>Revistas especializadas</b>	
Journal of Chemical Education	68
Inorganic Chemistry	24
Journal of Physical Chemistry	8
Journal of the American Chemical Society	32
Revista Ingenierías	8
Coordination Chemistry Review	16
Inorganica Chimica Acta	4
Journal of Chemical Society, Dalton Transaction	12
Inorganic Synthesis	8

**Tabla 1.** Principales fuentes bibliográficas consultadas por los estudiantes.



**Figura 1.** Estructuras de algunos de los compuestos de coordinación sintetizados.

En cuanto a los procesos de síntesis, se observó en los estudiantes la tendencia a predecir las reacciones mediante el uso apropiado de parámetros termodinámicos. Por ejemplo, determinaciones de  $\Delta G$  (cambio de energía libre de Gibbs), valores de  $E^\circ$  (potencial redox), empleo de diagramas de predominancia redox y diagramas de Poubaix. Además, se observó el control de parámetros cinéticos como concentraciones, temperatura, etc.

Se evidenció constantemente la generación de hipótesis para explicar diversos resultados experimentales, entre ellos los fracasos en algunos procedimientos de síntesis. El control de variables, el diseño de nuevos experimentos y la discusión grupal de resultados fueron situaciones de constante aparición durante los meses de trabajo.

Un aspecto de trascendental importancia fue la capacidad argumentativa que generaron los estudiantes alrededor de la temática desarrollada, logrando construir discursos altamente coherentes en los que se observó claramente el uso de los conceptos de simetría (elementos y operaciones de simetría) para describir la estructura planteada para cada compuesto sintetizado. Así mismo, incorporaron los principios de la simetría y teoría de grupos para determinar las representaciones irreducibles y predecir el número de bandas de absorción a observar en el análisis de espectroscopía IR.

Por otra parte, establecieron relaciones correctas entre las teorías de enlace de valencia y orbital molecular con respecto a las mediciones de susceptibilidad magnética, explicando el comportamiento

to diamagnético o paramagnético de los compuestos sintetizados, logrando una aproximación experimental y teórica del número de electrones desapareados en cada caso. Los análisis por UV-Vis permitieron a los estudiantes establecer verdaderas relaciones teórico-experimentales con la teoría de campo cristalino y emplear los diagramas de Tanabe-Sugano para determinar las energías de desdoblamiento de campo cristalino y explicar las transiciones electrónicas observadas. Así mismo, se observó una fundamenta-

ción clara en la explicación del color para ciertos compuestos de coordinación, desde la teoría de campo cristalino.

La tabla 2 resume los principales desempeños alcanzados por los estudiantes al final del curso de laboratorio, mediante la implementación del modelo de Aprendizaje por Investigación y según los niveles de competencias propuestos por Cárdenas y colaboradores (2003). La tabla 3 muestra algunos de los títulos de los artículos presentados por los estudiantes como informe final de la asignatura.

Nivel de competencia	Desempeño académico observado
Reconocimiento y distinción	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reconocimiento de la estructura de la planeación científica.</li> <li>• Identificación de la estructura de la comunicación científica: artículos y ponencias.</li> <li>• Reconocimiento de las características de un compuesto de coordinación: átomo central, esfera de coordinación, tipos de ligantes, etc.</li> <li>• Reconocimiento de los elementos y operaciones de simetría.</li> <li>• Identificación de tipos de isómeros: estereoisómeros e isómeros estructurales (de coordinación, de ionización y de enlace).</li> <li>• Reconocimiento de las variables termodinámicas y cinéticas en los procesos de síntesis inorgánica.</li> </ul>
Interpretación y uso	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interpretación correcta de la información proveniente de artículos de revistas especializadas en síntesis y estructura de compuestos inorgánicos.</li> <li>• Uso correcto de la nomenclatura de compuestos de coordinación.</li> <li>• Interpretación y aplicación de principios y parámetros termodinámicos involucrados en los procesos de síntesis.</li> <li>• Empleo de la ecuación de Nernst y los diagramas de potencial-pH en el control termodinámico de la síntesis.</li> <li>• Interpretación de espectros de absorción infrarroja y UV-Vis para compuestos de coordinación.</li> <li>• Elaboración de montajes relativamente complejos para la resolución de problemas generados durante los procesos de síntesis.</li> <li>• Empleo adecuado de las tablas de caracteres y los diagramas de Tanabe-Sugano.</li> </ul>

Continúa

Continuación

Producción	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Predicción de las bandas de absorción en compuestos de coordinación con base en principios de simetría y teoría de grupos.</li> <li>• Explicación de las transiciones electrónicas relacionadas con las señales observadas en espectroscopía UV-Vis para compuestos de coordinación, mediante el uso de la teoría de campo cristalino.</li> <li>• Elaboración de explicaciones sobre el comportamiento magnético de compuestos de coordinación haciendo uso de las teorías de enlace de valencia y orbital molecular.</li> <li>• Relación de los resultados de diversas técnicas de análisis (espectroscopía y propiedades físicas) para determinar la estructura de los compuestos sintetizados.</li> <li>• Proposición de mecanismos de reacción para explicar la formación de los compuestos de coordinación sintetizados.</li> </ul>
------------	---

**Tabla 2.** Principales desempeños observados en los estudiantes al final del curso.

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rodríguez, M. y Vanegas, G. (2004). Síntesis de N,N'-bis (salicilaldehído) etilendiimino: salen.</li> <li>- Castañeda, J. y Flórez, D. (2004). Susceptibilidad magnética en algunos compuestos inorgánicos: síntesis de los patrones de calibración <math>[\text{Ni}(\text{en})_3]\text{S}_2\text{O}_3</math> y <math>\text{Hg}[\text{Co}(\text{SCN})_4]</math>.</li> <li>- Morales, K. y Moreno, W. (2004). Síntesis y análisis espectroscópico de hexa y pentacianocomplejos.</li> <li>- Cuastuza, J. y Pineda, F. (2004). Síntesis de compuestos termocrómicos.</li> <li>- Valderrama, J. y Cañas, H. (2004). Síntesis y Caracterización un compuesto encapsulado: <math>[\text{Co}(\text{sepulcrato})]_3</math> a partir del <math>[\text{Co}(\text{en})_3]^{3+}</math>.</li> <li>- Herreño, J. (2004). Síntesis y caracterización de encapsulados de cobalto.</li> <li>- Riaño, S. y Moreno, A. (2004). Síntesis y caracterización por espectroscopía infrarroja y UV-Vis del ftalocianinato de cobre (II) y del ftalocianinatooxovanadio (IV).</li> <li>- Camargo, L. y Arias, M. (2004). Síntesis de Termocromos de Ni(II), Cu(II) y Ag(I).</li> <li>- Gamba, O. y Gamboa, W. (2004). Síntesis de compuestos encapsulados: <math>[\text{Co}(\text{dinosar})]\text{Cl}_3</math> y <math>[\text{Co}(\text{sep})](\text{S}_2\text{CNET}_2)_3</math> a partir de <math>[\text{Co}(\text{en})_3]\text{Cl}_3</math>.</li> <li>- Torres, J. y Sánchez, J. (2004). Síntesis de <math>\text{Ag}_2[\text{HgI}_4]</math>, <math>\text{Cu}[\text{HgI}_4]</math>, <math>(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{NH}_2[\text{NiCl}_4]</math>, <math>(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{NH}_2[\text{CuCl}_4]</math> y <math>[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}</math>.</li> </ul>
---

**Tabla 3.** Algunos títulos de informes finales de estudiantes, presentados a manera de artículos según las normas de la revista J. Chem. Soc., Dalton Trans.

A continuación, y a manera de ilustración, se presenta “en letra pequeña” la mayor parte de los resultados y discusión del trabajo “Síntesis de N,N'-bis(salicilaldehído)etilendiimino: salen”, en el que se

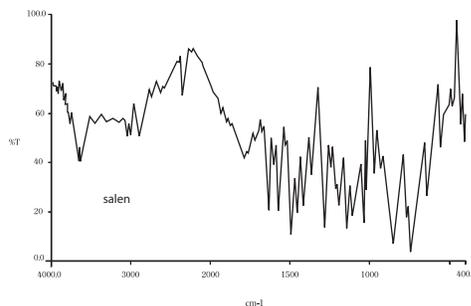
obtuvieron los compuestos Co(salen) y Ni(salen). El texto y las figuras son tomados “textualmente” como los presentaron los estudiantes (Rodríguez, M. y Vanegas, G.).

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En la preparación de H<sub>2</sub>Salen se observó que al adicionar la etilendiamina a la solución de etanol y salicilaldehído en caliente se obtuvo un sólido amarillo brillante, en forma de escamas cuyo punto de fusión es de 121,5°C, lo cual concuerda con lo reportado en la literatura (121°C)<sup>1</sup>; el H<sub>2</sub>Salen es soluble en cloroformo, diclorometano, metiletilacetona y en etanol caliente, medianamente soluble en acetoni-trilo, muy poco soluble en etanol frío e insoluble en agua; en esta síntesis se obtuvo un rendimiento del 83%. El espectro IR de este producto se encuentra en la figura 4; en la Tabla 1 se presentan las asignaciones correspondientes a algunas señales del H<sub>2</sub>salen, se hace énfasis en los enlaces de la molécula que posteriormente se pueden ver afectados por una posible coordinación, se comparan los resultados obtenidos con los de la literatura.

•(cm.-1) sólido	•(cm.-1) Literatura	Asignacion
3641	3436	Tensión O-H
3050, 3008	3060, 3011	CH aromático
3008, 2900	2926, 2867	Estiramiento asimétrico y simétrico de los metilenos
2635	2636	Desplazamiento de la tensión O-H del fenol sensible a la formación de enlaces de H intramoleculares
1635	1635	Estiramiento C=N del grupo imino
1576	1578	Vibración anillo aromático conjugado con grupos insaturados
1497, 1461	1497, 1459	Vibración C=C del anillo; flexión C-H de metileno
1283	1284	Tensión C-O
1247	1248	Flexión OH
857	858	Flexión fuera del plano =C-H
774	774	Vibración C-H debida a dos metilenos consecutivos
741	748	Sustitución orto en el anillo aromático

**Tabla 1.** Asignación de bandas en el espectro IR del H<sub>2</sub>Salen).



**Figura 4.** Espectro IR del ligante Salen.

En la síntesis de Co(Salen) se usó el montaje para reacciones en atmósfera de N<sub>2</sub>, en este procedimiento al adicionar el acetato de cobalto se formó un precipitado de color café y una solución roja, y al calentar por unos minutos el precipitado empezó a tomar un color rojizo. Tal como se indica en la literatura, éste compuesto se descompone aproximadamente a los 300°C. El rendimiento obtenido fue del 50%. El Co(Salen) existe en dos formas una activa (absorbe moléculas de oxígeno) de color café y otra inactiva no reacciona con moléculas de oxígeno de color rojo<sup>3</sup>. El espectro IR se ve en la Figura 5 y los resultados de las bandas en la Tabla 2, sugiriendo la posible formación de la forma inactiva del Co(Salen).

•(cm.-1) sólido	•(cm.-1) Literatura	Asignacion
1627f	1628s	Anillo fenil
1605mf	1608vs 1545m	Conjugado anillo fenil
1529f	1532s	Fuerza del enlace C:N
1468n	1472m	Deformación -CH <sub>2</sub> -
1449mf	1452vs	
1383d	1434m	
1349n	1398vw	
1329n	1386w 1350m 1328m 1308w	
1199n	1236m	O-distribución fenil
1141n	1221m 1206m 1197m 1150w 1140m	
1127f	1126s	

Continúa

Continuación

1087n	1087m	Fuerza en el anillo quelato del C-O
1053n	1052m	O-distribución fenil
1026d	1025w	O-distribución fenil
973d	974w	
795d	792w	O-distribución fenil
751f	757m	
	751s	
734f	740m	O-distribución fenil
	730s	
622d	626w	Metal-anillo quelato
	620w	
590d	598w	Metal-anillo quelato
511md	552vw	Metal-anillo quelato
	510vw	

s=fuerte, vs=muy fuerte, m=medianamente fuerte, w=débil y vw=muy débil

Tabla 2. Asignación de bandas en el espectro IR del Co(Salen).

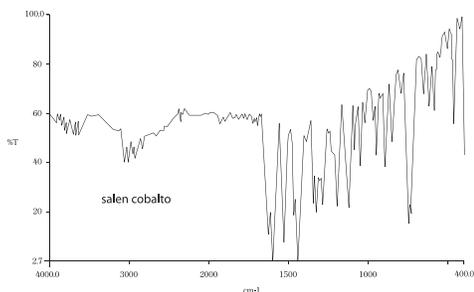


Figura 5. Espectro IR del Co(salen)

Para el Ni(Salen) se observó en su preparación que al adicionar acetato de Níquel al etanol y H<sub>2</sub>Salen se formó una solución roja y un precipitado amarillo. Al disolver este precipitado en cloroformo y recristalizar se formó un precipitado color naranja oscuro, se obtuvo un rendimiento del 50%. En la figura 6 se observa el espectro IR y en la Tabla 3 los resultados del espectro, los cuales sugieren la posible formación del Ni(Salen).

•(cm.-1) sólido	•(cm.-1) Literatura	Asignación
1625	1621vs	Anillo fenil
1599	1600s	Conjugado anillo fenil
1535	1536s	Fuerza del enlace C:N

Continúa

Continuación

	1465s	Deformación -CH2-
1451	1451s	
1385	1384m	
1348	1345m	
1330	1330m	
1318	1313m	
1238	1238w	O-distribución fenil
1200	1199m	
1144	1143m	
1127	1125s	O-distribución fenil
1089	1087m	Fuerza en el anillo quelato del C-O
1026	1024m	O-distribución fenil
	987vw	O-distribución fenil
	748m	
631	630w	Metal anillo quelato
600	598w	Metal anillo quelato
	550vw	Metal anillo quelato
520	520vw	

s=fuerte, vs=muy fuerte, m=medianamente fuerte, w=débil y vw=muy débil

Tabla 3. Asignación de bandas en el espectro IR del Ni(Salen).

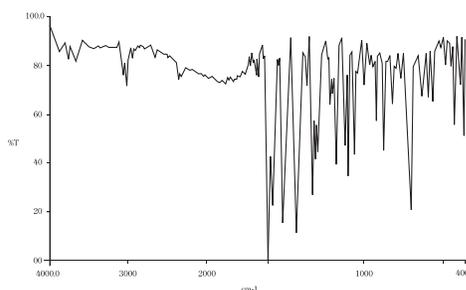


Figura 6. IR del Ni(Salen).

Se hicieron pruebas de UV-Vis. para los compuestos Co(salen) y Ni(salen) obteniéndose los siguientes datos. Tabla 4.

Co(Salen) 2.46×10 <sup>-5</sup>			Ni(Salen) 2.46×10 <sup>-3</sup>		
•nm	Absrb	Trans	•nm	Absrb	Trans
237	2.00	π→π*	540	0.37	d→d
351	0.24	n→π*	412	0.06	carga
409	0.31	d→π*	345	0.07	carga
484	0.061	d→d	258	0.39	carga

Tabla 4. Datos de espectroscopia UV-Vis.

En la tabla 4 se observa que el Ni(Salen) tiene una banda característica que corresponde a una

transición d-d mientras que a concentraciones menores de la utilizada se ve tres picos que corresponden a transiciones de transferencia de carga.

El espectro UV-Vis concuerda con el de la literatura dándonos una gran evidencia de haber obtenido el compuesto, se encuentran otros picos en el espectro a una menor concentración de Ni(Salen) los cuales corresponden a transferencias de carga en la molécula según la literatura. En el caso del Co(Salen) se encuentran 4 bandas características del compuesto una de las cuales corresponde a una transferencia de carga y las demás son transiciones comunes entre el metal y el ligando, el cual concuerda con lo reportado en literatura. Las transferencias d-d pueden deberse a transferencias electrónicas desde orbitales d llenos del metal a orbitales d vacíos del ligante. La transición  $\pi-\pi^*$  se debe a transiciones electrónicas desde orbitales p llenos del ligante a orbitales d vacíos del metal; esta transición no es permitida para el compuesto con níquel ya que sus orbitales están llenos. Las transiciones  $d-\pi^*$  corresponde a transferencia electrónica desde orbitales d llenos del metal a orbitales  $\pi$  vacíos del ligante, por ultimo la transición  $n-\pi$  se refiere a la transferencia electrónica entre orbitales d llenos del metal a orbitales  $\sigma$  vacíos del ligante.

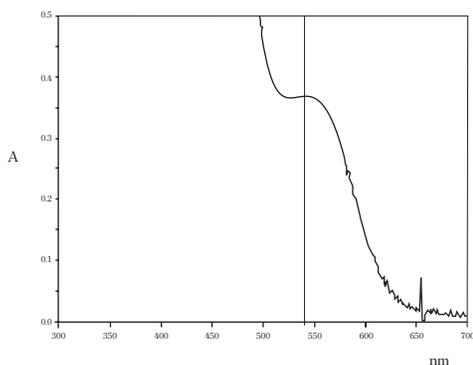


Figura 7. Espectro visible para Ni(Salen)  $2.46 \times 10^{-5}$  M en cloroformo.

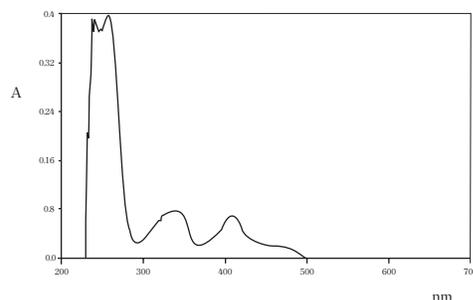


Figura 8. Espectro UV-Vis. Para el Ni(Salen)  $9.84 \times 10^{-6}$  M en cloroformo.

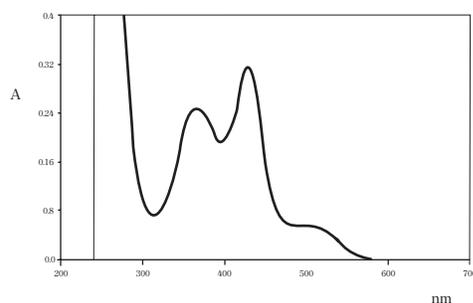


Figura 9. Espectro UV-Vis para el Co(Salen) a  $2.46 \times 10^{-5}$  M en cloroformo.

En las figuras 10 y 11, donde se muestra la abertura del campo cristalino para los iones cobalto y níquel, nos explica el color para cada uno de los compuestos ya que el valor del  $10Dq$  aumenta en mayor proporción con respecto al valor en el complejo octaédrico, y además nos indica que para excitar un electrón necesita una mayor energía, por lo tanto absorbe en la región del azul emitiendo el color rojo.

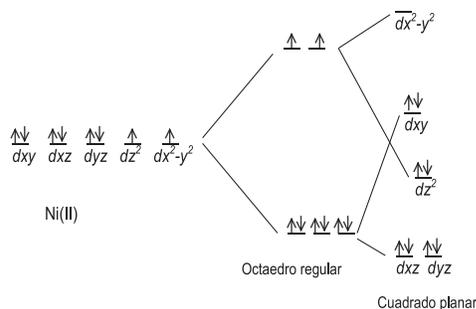


Figura 10. Teoría campo cristalino para el Ion  $Ni^{2+}$  en el complejo.

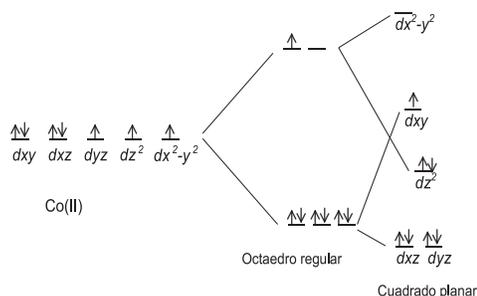


Figura 11. Teoría campo cristalino para el ión  $\text{Co}^{+2}$ .

Al hacer las pruebas de susceptibilidad magnética para el  $\text{Co}(\text{salen})$  y el  $\text{Ni}(\text{salen})$  se obtuvieron valores de momento magnético efectivo de 1.58 M.B. y 4.01 M.B. respectivamente. Estos valores nos indican que los compuestos tienen 1 y 3 electrones desapareados respectivamente, lo cual corresponde con lo esperado según la teoría para el  $\text{Co}(\text{salen})$  ya que como se observa en la figura 12, donde el metal según la teoría de enlace valencia queda con un electrón desapareado después de formar el enlace con el salen.

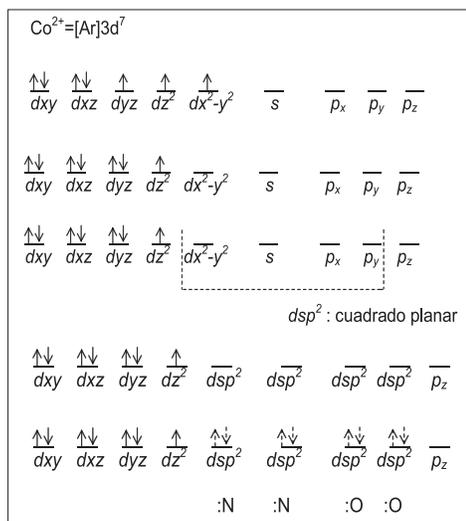


Figura 12. Teoría enlace valencia para el  $\text{Co}(\text{salen})$ .

En la figura 13, la teoría nos muestra que el compuesto con níquel es diamagnético, es decir, no tiene electrones desapareados. El momento magnético que obtuvimos para este no concuerda

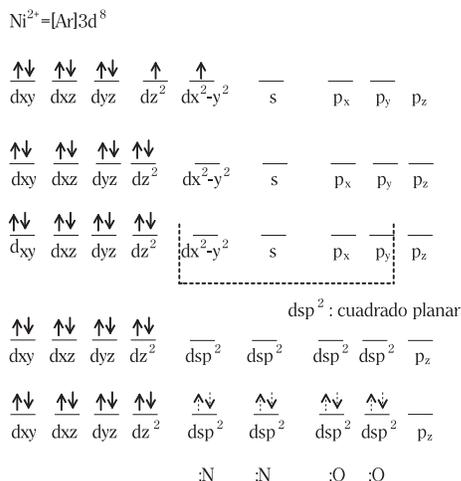


Figura 13. Teoría enlace valencia para el  $\text{Ni}(\text{salen})$

da con la teoría lo cual se puede deber a que la muestra quedó húmeda y los electrones desapareados del agua interfirieron con lo que esperábamos obtener, momento magnético de 0 M. B.

### Conclusión

El ligante Salen y los complejos obtenidos durante el desarrollo de las prácticas concuerdan con lo reportado en la literatura, lo cual se comprobó con las pruebas realizadas; como la solubilidad, susceptibilidad magnética, y punto de fusión, el color también fue un indicio importante en la determinación del compuesto.

Los espectros IR y UV-Vis nos indican que las probabilidades de haber sintetizado los compuestos  $\text{Co}(\text{Salen})$  y  $\text{Ni}(\text{Salen})$  son bastante altas ya que los resultados son coherentes con la literatura.

## CONCLUSIÓN

La resolución de problemas prácticos mediante la elaboración y desarrollo de pequeños "proyectos de investigación" que simulan perfectamente la metodología de investigación científica, concebidos como estrategia de Aprendizaje por Investigación, constituye una verdadera alternativa pedagógica de las ciencias naturales y de la química en especial. La experiencia de su implementación en química inorgánica evidencia la eficacia en la integración de conceptos y teorías alrededor de una temática de interés: Teoría de coordinación de Werner, estructura, espectroscopía, eimetría y teoría de grupos, teorías de enlace de valencia y orbital molecular, teoría de campo cristalino y termodinámica química.

Evidentemente, la conceptualización previa de los estudiantes, sus habilidades, destrezas y competencias para el trabajo práctico de laboratorio son elementos indispensables para la implementación de este modelo de aprendizaje en química inorgánica. Asimismo, juega un papel importante y decisivo la formación realmente científica que posea el docente, puesto que esto permite dirigir con rigurosidad y experiencia las actividades simuladas según las características de la investigación científica en el área de la química.

## BIBLIOGRAFÍA

- Campanario, J. M., y Moya, A. (1999). ¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas. En: *Enseñanza de las ciencias*, 17, pp. 179-192.
- Cárdenas, F.; Leal, H., y Sarmiento, F. (2003). Formación y evaluación de competencias en ciencias naturales. En: *Trazas y Miradas: evaluación y competencias* (Bogotá, D., editor). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Carriazo, J., y Saavedra, M. (2004). La didáctica de la Química: una disciplina emergente. En: *Tecné, Episteme y Didaxis*, 15, pp.73-84.
- Pozo, J. I. y Gómez, M. A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Madrid: Morata.
- Ramírez, A., y González, J. (2003). Modelo de enseñanza y aprendizaje por investigación en el área de Física. En: *Pedagogía y didáctica de las ciencias experimentales. Hacia una enseñanza y un aprendizaje por investigación*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Rule, A.C. 2002. Learning Theory and National Standards applied to teaching clay science. In: *Teaching clay science, workshop lectures*, vol. 11 (Stephen, G. and Rule, A. C., editors). Aurora (USA): The Clay Mineral Society.
- Salcedo, L.; Ladino, Y., y Zapata, P. (2003). Modelo de enseñanza y aprendizaje por investigación. En: *Pedagogía y didáctica de las ciencias experimentales. Hacia una enseñanza y un aprendizaje por investigación*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Salcedo, L., y Rivera, J. (2004). Concepciones de los profesores y estudiantes sobre prácticas de laboratorio del proyecto curricular de la Licenciatura en Química de la Universidad Pedagógica Nacional. En: *Tecné, Episteme y Didaxis*, 15, pp. 1-10.
- Zapata, P., Ladino, Y., y Salcedo, L. (2003). Las actitudes y concepciones de aprendizaje de los profesores de ciencias. En: *Pedagogía y didáctica de las ciencias experimentales. Hacia una enseñanza y un aprendizaje por investigación*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.