

## Teoría de coordinación de Werner

### Werner's coordination theory

Oscar Muñoz-Granados <sup>a</sup>, Noemí Andrade-López <sup>b</sup>, José G. Alvarado-Rodríguez <sup>c</sup>, Francisco J. Zuno-Cruz <sup>d</sup>

---

#### Abstract:

In this review, the chain and coordination theories of Blomstrand-Jørgensen and Werner are described. These theories were proposed to explain the structure of coordination compounds, previously named as complexes.

#### Keywords:

Coordination compounds, complexes, primary valence, coordination number

---

#### Resumen:

En esta reseña se describen las teorías de las cadenas y de coordinación de Blomstrand-Jørgensen y de Werner. Estas teorías fueron propuestas para explicar la estructura de los compuestos de coordinación antes llamados complejos.

#### Palabras Clave:

Compuestos de coordinación, complejos, valencia principal, número de coordinación

---

### Introducción

Aunque la fecha en la que se sintetizó el primer compuesto de coordinación no se conoce con certeza, el color que presentan algunos de estos compuestos y su reactividad química versátil fueron, entre otras propiedades, factores de interés a investigar en el siglo XIX por químicos como Christian Wilhelm Blomstrand, Sophus Mads Jørgensen y Alfred Werner.

En la actualidad, un compuesto de coordinación se identifica porque contiene un átomo o ion central que generalmente es un metal o metaloide rodeado por un grupo de iones o moléculas que tienen la capacidad de

donar electrones, y que reciben el nombre de ligantes. Estos ligantes al unirse al átomo central forman enlaces dativos o de coordinación. En los compuestos de coordinación se ha encontrado que su estabilidad depende de los requerimientos electrónicos del átomo metálico o metaloide, de la naturaleza donadora de los ligantes y de factores que dependen del tamaño (efectos estéricos) o del ambiente electrónico, entre otros.

Desde una perspectiva histórica, a mediados del siglo XIX, a los compuestos de coordinación se les conocía como *complejos* y, constantemente se debatía sobre la naturaleza de su enlace y estructura, así como de la mejor forma de nombrarlos. En este contexto, en la segunda mitad del siglo XIX surgen principalmente dos teorías: la

---

<sup>a</sup> Oscar Muñoz-Granados, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Escuela Preparatoria <https://orcid.org/0000-0002-2201-3334>, e-mail: [oscar\\_munoz@uaeh.edu.mx](mailto:oscar_munoz@uaeh.edu.mx)

<sup>b</sup> Noemí Andrade López, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0002-3431-4839>, e-mail: [nandrade@uaeh.edu.mx](mailto:nandrade@uaeh.edu.mx)

<sup>c</sup> José Guadalupe Alvarado Rodríguez, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0001-5390-4255>, e-mail: [jga@uaeh.edu.mx](mailto:jga@uaeh.edu.mx)

<sup>d</sup> Francisco Javier Zuno Cruz, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0002-3214-6392>, e-mail: [fjzuno@uaeh.edu.mx](mailto:fjzuno@uaeh.edu.mx)

teoría de las cadenas postulada en 1869 por C. W. Blomstrand, quien estaba en desacuerdo con la teoría de la valencia constante de Augusto Kekulé, y por S. M. Jörgensen, un investigador extremadamente metódico y dedicado, y la *teoría de coordinación* propuesta por Alfred Werner en 1893. Ambas teorías fueron fuertemente respaldadas por sus seguidores dentro de la comunidad científica porque, mientras la primera proponía un modelo basado en las tendencias de la química del siglo XIX; la segunda surgía como una idea revolucionaria y novedosa para su época. En este contexto, Wilhelm Ostwald clasificaba a los grandes genios como investigadores clásicos (conservadores y resilientes) y románticos; Jörgensen es un ejemplo de los primeros mientras Werner era más identificado con los segundos.

### C. W. Blomstrand y S. M. Jörgensen. Teoría de las cadenas

Para explicar la estructura de los compuestos de coordinación, Blomstrand y Jörgensen se basaron en la teoría estructural postulada para los compuestos orgánicos. Dentro de los conceptos básicos de esta teoría, la tetravalencia del átomo de carbono y su capacidad para formar cadenas carbono-carbono influyeron significativamente en Blomstrand y Jörgensen. En ese siglo, se proponía, además, que los elementos solamente pueden tener un tipo de valencia por lo que, para la estructura del complejo  $\text{CoCl}_3 \cdot 6\text{NH}_3$  propusieron una estructura de cadena, figura 1a. En este complejo concluyeron que la presencia de nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ) precipita tres cloruros por no estar unidos directamente a cobalto. Para los complejos  $\text{CoCl}_3 \cdot 4\text{NH}_3$  y  $\text{CoCl}_3 \cdot 3\text{NH}_3$  propusieron una estructura de cadena como la que se muestra en la figura 1b. Para estos dos últimos complejos argumentaron que dos cloruros no precipitarían porque al estar unidos al átomo de cobalto su ionización debería ser lenta. Un dato relevante de mencionar es que el complejo  $\text{CoCl}_3 \cdot 3\text{NH}_3$  no pudo ser sintetizado por un químico experimentado como Jörgensen, por lo que en su sustitución sintetizó un complejo análogo de  $\text{IrCl}_3 \cdot 3\text{NH}_3$ . El complejo de iridio en solución acuosa no condujo la electricidad ni precipitó cloruros en presencia de nitrato de plata. Con estos datos experimentales, Blomstrand y Jörgensen dedujeron que la estructura de cadena propuesta para estos complejos era incorrecta.

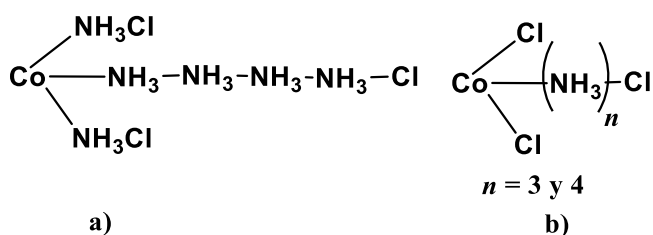


Figura 1a) Estructura de cadena para  $\text{CoCl}_3 \cdot 6\text{NH}_3$ .  
b) Estructura de cadena para los complejos  $\text{CoCl}_3 \cdot n\text{NH}_3$ .

### Alfred Werner. Teoría de la coordinación

Aunque la teoría de las cadenas fue en su momento aceptada, una nueva teoría fue desarrollada posteriormente por Alfred Werner llamada *teoría de la coordinación*. En esta teoría Werner propuso que los átomos metálicos presentan dos tipos de valencia o de enlace. La valencia primaria o valencia ionizable (en alemán *Hauptvalenz*), y la valencia secundaria o valencia no-ionizable (*Nebenvalenz*). Los tres postulados de la teoría de coordinación son:

- Postulado 1. Los elementos químicos presentan dos tipos de valencia. La valencia primaria (en términos modernos: número de oxidación) y la valencia secundaria (en términos modernos: número de coordinación).
- Postulado 2. Todos los elementos satisfacen tanto su valencia primaria (la cual es satisfecha por aniones) como a su valencia secundaria (la cual puede ser satisfecha tanto por aniones como moléculas neutras).
- Postulado 3. La valencia secundaria o número de coordinación define las posiciones de los ligantes alrededor del átomo central, dando lugar a poliedros de coordinación.

Con esta teoría, Werner explicó la estructura correcta de los complejos de cobalto  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$  (figura 2a) y  $[\text{Co}(\text{NH}_3)\text{Cl}_3]$  (figura 2b) formulados con anterioridad como  $\text{CoCl}_3 \cdot 6\text{NH}_3$  y  $\text{CoCl}_3 \cdot 3\text{NH}_3$ , explicando, además, la precipitación de cloruros, su conductividad en solución acuosa, su arreglo espacial y en algunos casos la formación de compuestos isómeros.

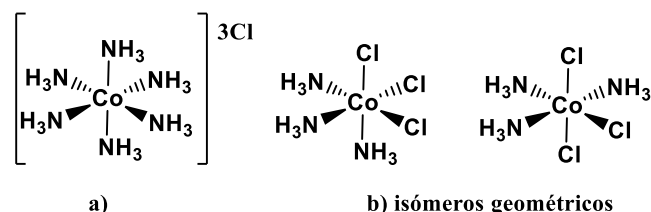


Figura 2a. Estructura del complejo  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$ .  
b) Estructura de los isómeros geométricos del complejo  $[\text{Co}(\text{NH}_3)\text{Cl}_3]$ .

Los postulados de la teoría de coordinación de Werner fueron soportados por su trabajo experimental pero debatidos con argumentos relacionados tales como que las isomerías exhibidas por los compuestos de

coordinación eran un fenómeno asociado a los compuestos derivados del carbono. Sin embargo, lo anterior promovió la síntesis de un mayor número de compuestos de coordinación con isomería demostrando que, la isomería es una consecuencia del reacomodo espacial de los átomos en las moléculas y no a una propiedad exclusiva del átomo de carbono.

### Conclusiones

Los trabajos de Blomstrand y Jörgensen son relevantes debido a que, a partir de una gran cantidad de evidencia experimental obtenida por ellos, determinaron que *la teoría de las cadenas* no explicaba la estructura de los compuestos de coordinación de forma correcta. Werner con su *teoría de coordinación* retoma los trabajos de Blomstrand y Jörgensen asumiendo el reto de determinar correctamente la estructura de complejos metálicos formados con iones complejos. Esta es la esencia del trabajo científico, dar respuesta sustentada con la investigación experimental a un hecho u observable poco estudiado. Con lo anterior, se aporta y revoluciona el conocimiento científico como lo hicieron Blomstrand, Jörgensen y Werner.

### Referencias

- [1] Basolo, F., & Johnson, R. (1980). *Química de los compuestos de coordinación*. Barcelona: Reverté.
- [2] Universidad Nacional de Colombia (2014). *Curso de Química de Coordinación. Teoría de Werner*. Recuperado de: [http://168.176.239.58/cursos/ciencias/2000189\\_1/teoria\\_de\\_werner.html](http://168.176.239.58/cursos/ciencias/2000189_1/teoria_de_werner.html)
- [3] Kauffman, G. B. (1993). *Coordination Chemistry A century of progress*. Denver: ACS.