



### 1. Información de la Unidad de Aprendizaje:

<b>Nombre:</b> Química Organometálica Avanzada		<b>Número de créditos:</b> 9	
<b>Departamento:</b> Química		<b>Horas B.C.A. **: 64</b>	<b>Horas A.M.I. ***: 80</b> <b>Total de horas: 144</b>
<b>Tipo*:</b> C	<b>Prerrequisitos:</b> Ninguno		<b>Nivel:</b> Formación Optativa Abierta

\* C=Curso, S=Seminario, CT=Curso Taller, T=Taller, L=Laboratorio, N=Clínica

\*\*B.C.A. Bajo conducción académica.

\*\*\*A.M.I. Actividades de manera independiente

### 2. Descripción

*Este curso se centra en el estudio de los compuestos organometálicos con un principal enfoque en su aplicación en procesos de catálisis homogénea. Inicialmente se discutirán los principios de estructura y enlace, la clasificación de ligantes y los mecanismos de reacción fundamentales en química organometálica. Posteriormente se revisarán los principios de la catálisis homogénea y se estudiarán distintas aplicaciones catalíticas llevadas a cabo por complejos organometálicos; entre ellas: la hidrogenación, funcionalización de olefinas, carbonilación, funcionalización de enlaces C-H, reacciones de acoplamiento, sustitución alílica, metátesis de olefinas y polimerización de olefinas.*

### 3. Objetivo general

*El objetivo del curso es que el alumno sea capaz de comprender las características y propiedades de compuestos organometálicos basado en el análisis de la naturaleza de enlace metal-ligante. Aprenderá las reacciones químicas fundamentales que se llevan a cabo en especies organometálicas, así como los principios de catálisis homogénea, los ciclos catalíticos y los mecanismos de los diferentes procesos catalíticos que involucran complejos de metales de transición.*

### 4. Contenido temático

<b>UNIDAD 1.</b> Introducción: Estructura y enlace	
<b>Objetivo específico:</b> Conocer los principios fundamentales que rigen la química organometálica y que permiten comprender las tendencias de estructura y enlace en los complejos organometálicos.	
<b>Contenido de unidad</b> 1.1 Propiedades y clasificación de ligantes. 1.2 Propiedades de los metales de transición. Estado de oxidación y su relación con el número de electrones d. 1.3 Interacciones metal-ligante. Excepciones a la regla de los 18 electrones. Complejos isoelectrónicos e isolobalidad.	<b>N° Sesiones: 3</b> <b>horas/semana: 6 horas / 1.5 semanas</b>
<b>UNIDAD 2.</b> Características de compuestos organometálicos de acuerdo a la naturaleza de los ligantes.	
<b>Objetivo específico:</b> Conocer e identificar los distintos tipos de ligantes que conforman a los compuestos de coordinación. Comprender la importancia de los ligantes como moduladores de las propiedades estructurales y electrónicas del metal para controlar su reactividad.	
<b>Contenido de unidad</b> 2.1 Compuestos organometálicos con ligantes donadores (enlace dativo). 2.1.1 Complejos con monóxido de carbono y	

<p>ligantes relacionados.</p> <p>2.1.2 Complejos con ligantes fosfina y sus análogos del grupo VA.</p> <p>2.1.3 Complejos con ligantes carbeno.</p> <p>2.1.4 Complejos con ligantes enlazados a través de N, O y S.</p> <p>2.1.5 Complejos sigma.</p> <p>2.2 Compuestos organometálicos con ligantes tipo X (enlace covalente).</p> <p>2.2.1 Complejos con enlace metal-carbono y metal-hidrógeno.</p> <p>2.2.1.1 Ligantes alquilo, arilo, vinilo y alquilo.</p> <p>2.2.1.2 Ligantes alilo, <math>\eta^3</math>-bencilo, pentadienilo y ciclopentadienilo y ligantes relacionados.</p> <p>2.2.1.3 Ligantes hidruro.</p> <p>2.2.2 Complejos con enlace metal-nitrógeno.</p> <p>2.2.2.1 Ligantes amido, amidato y amidinato.</p> <p>2.2.2.2 Ligantes nitrosilo.</p> <p>2.2.2.3 Ligantes N-heterocíclicos aniónicos.</p> <p>2.2.2.4 Ligantes nitrogenados polidentados.</p> <p>2.2.3 Complejos con enlace metal-oxígeno.</p> <p>2.2.3.1 Ligantes alcoxo.</p> <p>2.2.3.2 Ligantes <math>\beta</math>-dicetonato.</p> <p>2.2.4 Otros complejos con enlaces metal-heteroátomo.</p> <p>2.2.4.1 Ligantes borilo, fosfido, sililo y tiolato.</p> <p>2.2.4.2 Ligantes halogenuro.</p>	<p><b>N° Sesiones: 4</b> <b>horas/semana: 8 horas / 2 semanas</b></p>
---	---

### UNIDAD 3. Reacciones de sustitución de ligantes

**Objetivo específico:** Comprender los principios y fundamentos de los distintos mecanismos de reacción con los cuales un ligante libre puede ser capaz de reemplazar a un ligante coordinado dentro de un compuesto organometálico.

#### Contenido de unidad.

- 3.1 Generalidades. Consideraciones termoquímicas.
- 3.2 Mecanismos de sustitución.
- 3.2.1 Sustitución de ligantes en complejos de 16 y 17 electrones.
- 3.2.1.1 Reacciones de sustitución asociativa y disociativa en complejos cuadrados planos.
- 3.2.2 Sustitución de ligantes en complejos de 18 electrones.
- 3.2.2.1 Reacciones de sustitución disociativa.
- 3.2.2.2 Variaciones del mecanismo disociativo.
- 3.2.3 Sustitución de ligantes con hapticidad ( $\eta \geq 4$ )
- 3.2.4 Sustitución de ligantes en complejos bimetalicos y en cúmulos metálicos.

**N° Sesiones: 3**  
**horas/semana: 6 horas / 1.5 semanas**

### UNIDAD 4. Reacciones de adición oxidativa y eliminación reductiva

**Objetivo específico:** Comprender los fundamentos y mecanismos que rigen los procesos de adición oxidativa y eliminación reductiva en compuestos organometálicos, así como su importancia en la activación y formación de nuevos enlaces en especies orgánicas y del grupo principal.

#### Contenido de unidad

- 4.1 Reacciones de adición oxidativa.
- 4.1.1 Generalidades. Consideraciones

<p>termodinámicas.</p> <p>4.1.2 Mecanismos de adición oxidativa de reactivos no polares.</p> <p>4.1.2.1 Adición oxidativa de enlaces H-H (H<sub>2</sub>), Si-H (silanos) y C-H (alcanos).</p> <p>4.1.3 Mecanismos de adición oxidativa de reactivos polares.</p> <p>4.1.3.1 Adición oxidativa vía S<sub>N</sub>2.</p> <p>4.1.3.2 Adición oxidativa vía radicales.</p> <p>4.1.3.3 Adiciones oxidativas concertadas.</p> <p>4.2 Reacciones de eliminación reductiva.</p> <p>4.2.1 Generalidades. Factores que afectan la velocidad de reacción.</p> <p>4.2.2 Eliminación reductiva para la formación de enlaces C-H.</p> <p>4.2.3 Eliminación reductiva para la formación de enlaces X-H.</p> <p>4.2.3 Eliminación reductiva para la formación de enlaces C-C.</p> <p>4.2.3 Eliminación reductiva para la formación de enlaces C-X.</p>	<p><b>N° Sesiones: 4</b> <b>horas/semana: 8 horas / 2 semanas</b></p>
---	---

<p><b>UNIDAD 5. Reacciones de inserción migratoria y de eliminación</b></p>	
<p><b>Objetivo específico:</b> Comprender los fundamentos y mecanismos que rigen los procesos de inserción migratoria y eliminación en compuesto organometálicas.</p>	
<p><b>Contenido de unidad</b></p> <p>5.1 Reacciones de inserción migratoria.</p> <p>5.1.1 Generalidades.</p> <p>5.1.2 Inserción de ligantes enlazados por un solo átomo</p> <p>5.1.2.1 Inserciones de monóxido de carbono (CO).</p> <p>5.1.2.2 Inserción de carbenos.</p> <p>5.1.2.3 Inserción de otros ligantes.</p> <p>5.1.3 Inserción de ligantes enlazados a través de varios átomos.</p> <p>5.1.3.2 Inserción de olefinas y acetilenos.</p> <p>5.2 Reacciones de eliminación.</p> <p>5.2.1 Proceso de β-eliminación.</p> <p>5.2.2 Otros procesos de eliminación.</p>	<p><b>N° Sesiones: 4</b> <b>horas/semana: 8 horas / 2 semanas</b></p>

<p><b>UNIDAD 6. Procesos catalíticos para la funcionalización de compuestos insaturados</b></p>	
<p><b>Objetivo específico:</b> Conocer los principios y fundamentos de la catálisis homogénea. Aprender los principales procesos catalíticos que emplean metales de transición para la funcionalización de compuestos orgánicos insaturados y su importancia. Comprender los ciclos catalíticos que explican cada uno de los distintos procesos.</p>	
<p><b>Contenido de unidad</b></p> <p>6.1 Principios y fundamentos de catálisis.</p> <p>6.2 Hidrogenación homogénea.</p> <p>6.2.1 Generalidades.</p> <p>6.2.2 Hidrogenación de olefinas y cetonas.</p> <p>6.2.2.1 Mecanismos comunes.</p> <p>6.2.3 Hidrogenación de alquino y dienos conjugados.</p> <p>6.2.4 Hidrogenación homogénea de arenos y heteroarenos.</p>	<p><b>N° Sesiones: 6</b> <b>horas/semana: 12 horas / 3 semanas</b></p>

6.2.5 Hidrogenación homogénea de otros grupos funcionales. 6.3 Hidrosililación catalítica de compuestos insaturados. 6.3.1 Generalidades. 6.3.2 Mecanismos de hidrosililación. 6.4 Hidroaminación de olefinas y alquinos. 6.4.1 Generalidades. 6.4.2 Mecanismos de hidrosililación. 6.5 Funcionalización oxidativa de olefinas. 6.4.1 Proceso Wacker. 6.4.2 Aminación oxidativa de olefinas. 6.4 Hidroformilación de olefinas. 6.4.1 Generalidades. 6.4.2 Mecanismos de hidrosililación.	
--	--

**UNIDAD 7. Otros procesos catalíticos**

**Objetivo específico:** Conocer otros procesos catalíticos llevados a cabo por metales de transición para la funcionalización y obtención de distintos compuestos orgánicos con valor agregado. Comprender los ciclos catalíticos que explican cada uno de los distintos procesos.

<b>Contenido de unidad</b> 7.1 Procesos de carbonilación catalítica 7.1.1 Carbonilación de halogenuros orgánicos. 7.1.2 Copolimerización de CO y olefinas. 7.1.3 Reacción de Pauson-Khand. 7.2 Funcionalización catalítica de enlaces C-H. 7.3 Reacciones de acoplamiento cruzado catalizadas por metales de transición. 7.3.1 Acoplamiento de reactivos organozinc. 7.3.2 Acoplamiento de reactivos organoestaño. 7.3.3 Acoplamiento de reactivos organosilicio. 7.3.4 Acoplamiento de reactivos organoboro 7.3.5 Acoplamiento de alquinos. 7.3.6 Acoplamiento de olefinas. 7.4 Sustitución alílica. 7.5 Metátesis de olefinas y alquinos. 7.6 Polimerización y oligomerización de olefinas.	<b>N° Sesiones: 8</b> <b>horas/semana: 16 horas / 4 semanas</b>
--	--

**5. Modalidades de enseñanza aprendizaje**

-Exposición de temas por parte del profesor.  
 -Investigación y exposición de temas selectos por parte de los alumnos de manera individual y/o en equipo.  
 -Dinámicas grupales dentro del aula para la resolución de problemas.  
 -Elaboración de trabajos individuales derivados de la comprensión y análisis de publicaciones científicas recientes relacionadas con los temas del curso.

**6. Modalidad de evaluación**

**Evaluación continua:**

Mecanismo	Porcentaje
Exámenes parciales	60 %
Exposiciones	25 %
Trabajos individuales	15 %

## 7. Bibliografía

Título	Autor	Editorial, fecha	Año de la edición más reciente
Organotransition Metal Chemistry - From Bonding to Catalysis	John F. Hartwig	University Science Books	2010
The Organometallic Chemistry of the Transition Metals (6 <sup>th</sup> Ed.)	Robert H. Crabtree	John Wiley & Sons, Inc.	2014
Organometallics and Catalysis. An Introduction	Manfred Bochmann	Oxford University Press	2015
Transition Metal Organometallic Chemistry	Francois Mathey	Springer	2013

## 8. Otros materiales de apoyo

Topics in Organometallic Chemistry – Book Series (64 volúmenes; 1998 - present)  
<https://link.springer.com/bookseries/3418>

Advances in Organometallic Chemistry – Book Series (72 volúmenes; 1964 - present)  
<https://www.sciencedirect.com/bookseries/advances-in-organometallic-chemistry>

## 9. Conocimientos, aptitudes y capacidades que el alumno deberá adquirir

El alumno será capaz de comprender las principales características y propiedades de compuestos organometálicos, basándose en el análisis de la naturaleza de enlace metal-ligante.

Aprenderá e identificará los principales reacciones químicas que se llevan a cabo en especies organometálicas.

Adquirirá conocimiento de los principios y fundamentos de catálisis homogénea.

Comprenderá y será capaz de analizar, interpretar y proponer ciclos catalíticos y mecanismos de reacción involucrados en diferentes procesos catalíticos que involucran metales de transición.

Conocerá y comprenderá las principales reacciones catalizadas por metales de transición para la funcionalización de compuestos orgánicos y del bloque principal, así como para la obtención de compuestos con valor agregado.

## 10. Perfil académico sugerido para el docente

*Grado académico:* Doctor en Ciencias en Química o áreas afines.

*Experiencia:* Contar con experiencia en el área de química organometálica y/o química de coordinación, comprobable mediante publicaciones científicas en revistas indizadas especializadas en la materia.

## 11. Autores

**Dr. Alfredo Rosas Sánchez**  
**Dra. Sara Angélica Cortés Llamas**

Formato basado en el Artículo 21 del Reglamento General de planes de estudios de la U.de G.