



SEP

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CANCÚN



Nanotubos de Carbono y su Aplicación en Celdas de Combustible

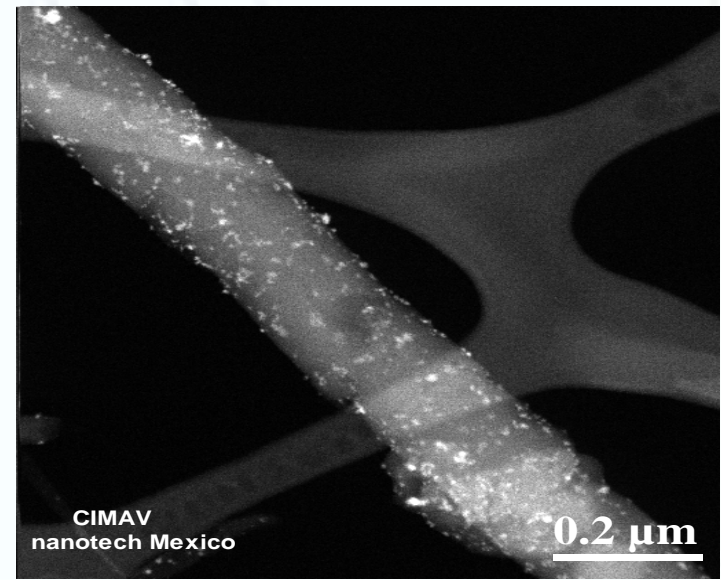
José Ysmael Verde Gómez

yverde@itcancun.edu.mx

Tel. (998) 8807432 ext. 1002



Abril 2013



CIMAV
nanotech Mexico

0.2 μm



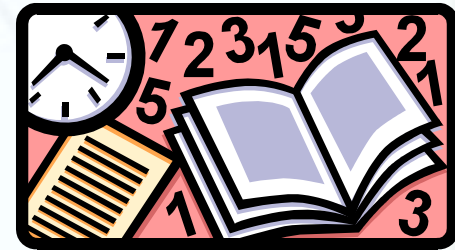
CONTENIDO

A) INTRODUCCION

- I. NANOTUBOS DE CARBONO
- II. CELDAS DE COMBUSTIBLE

B) TRABAJO EXPERIMENTAL

- I. SINTESIS DE MWCNT
- II. NANOPARTICULAS EN MWCNT
- III. APLICACIONES EN CELDAS DE COMBUSTIBLE



C) CONCLUSIONES





Cancún

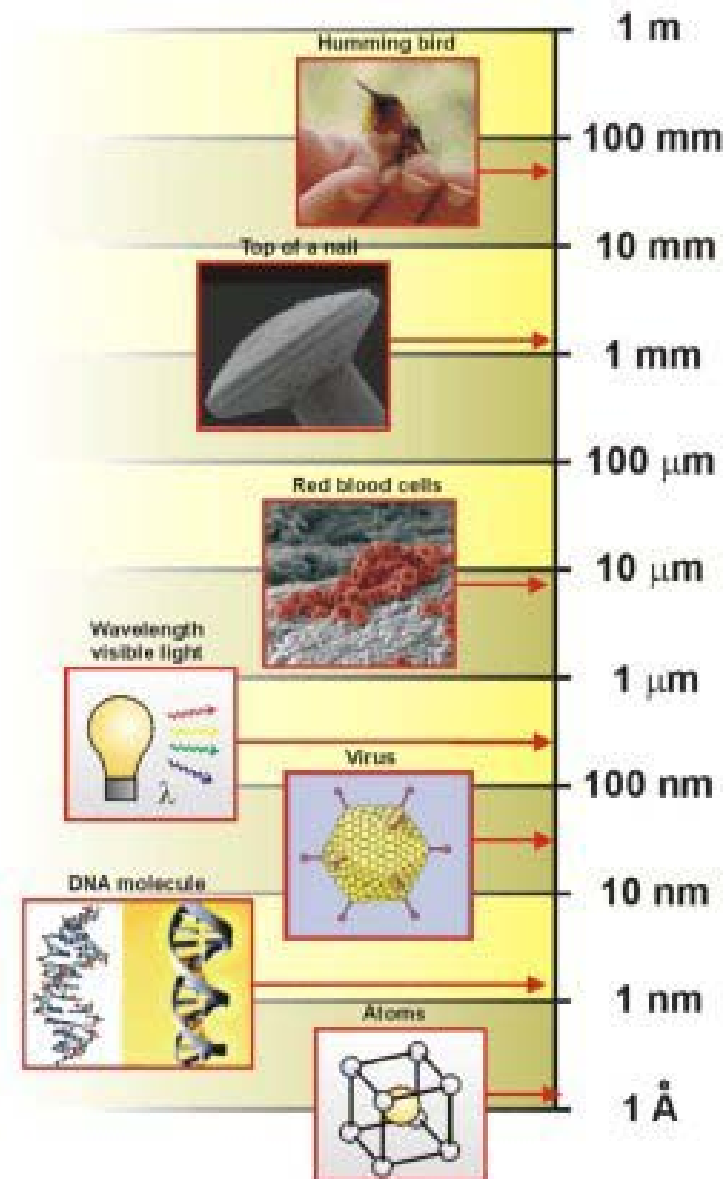
A. I. NANOTUBOS DE CARBONO





“The essence of nanotechnology is the ability to work at the molecular level, atom by atom, to create large structures with fundamentally new molecular organization” (Drexler, 2004).

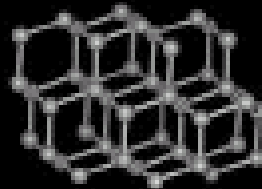
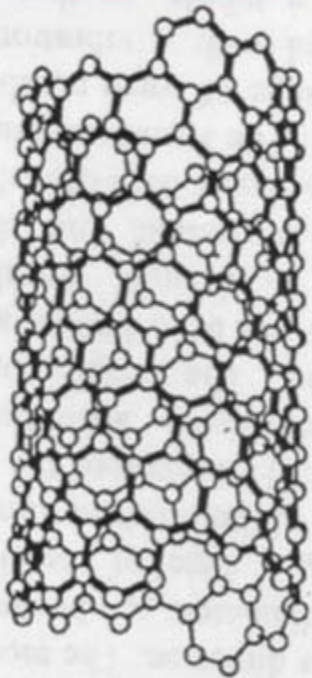
Nanometro = 1×10^{-9} metro
(millonésima parte de 1 mm)



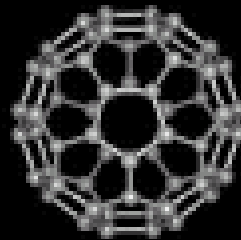


Nanotubos de Carbono (NTC)

Son moléculas Gigantes construidas por una o varias hojas de átomos de carbón en un arreglo cilíndrico

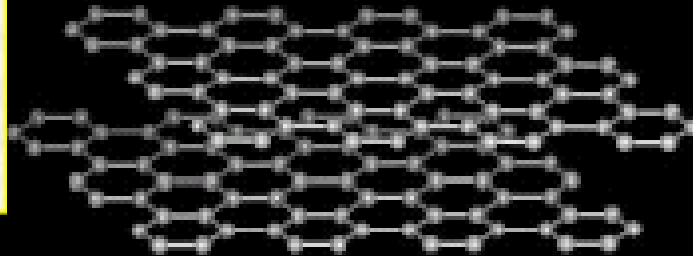


diamond

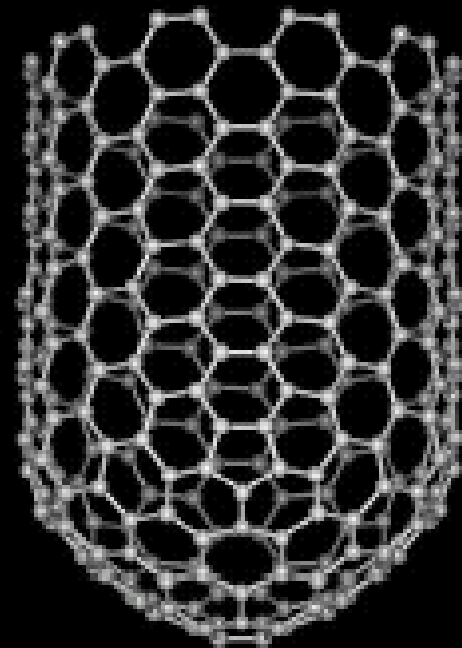


C_{60}

"buckminsterfullerene"



graphite

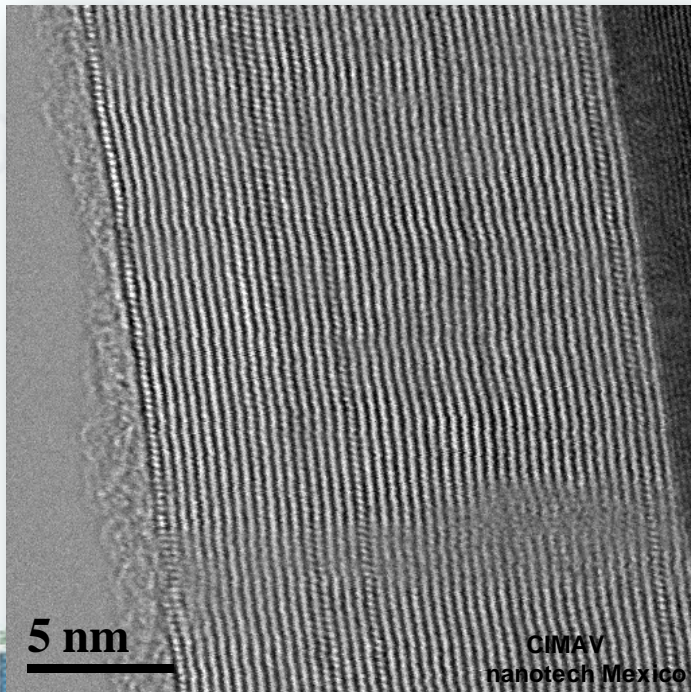
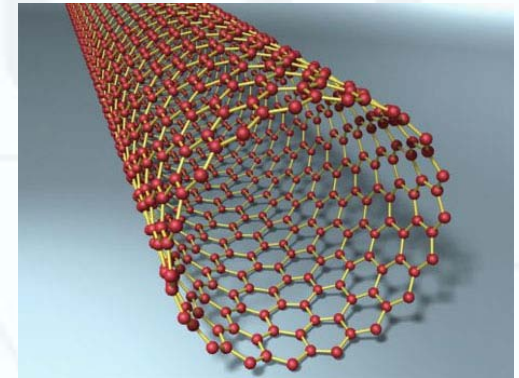


(10,10) tube

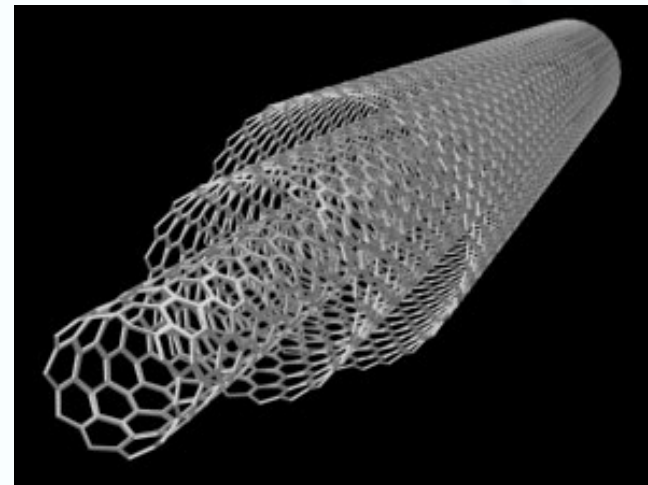




- El NTC pueden estar construido con una sola hoja de atomos de carbon = single-walled nanotube (SWCNT)
 $1 \text{ nm} < d < 3 \text{ nm}$.



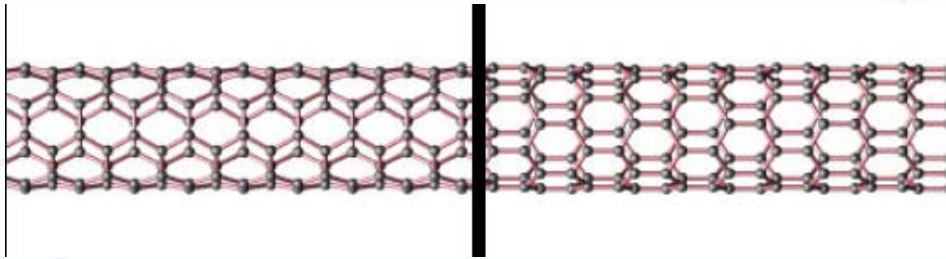
- El NTC puede estar construido por varias hojas atómicas de carbono = multi-walled nanotube (MWCNT)
 $d > 3 \text{ nm}$.





SEP Propiedades

❖ Propiedades eléctricas:



Metal

Semiconductor

❖ Propiedades Mecánicas:

- Un Mayor Modulo de Young que los materiales conocidos ($Y \sim 1.2$ Tpa).
- Extraordinaria Resistencia Mecánica : compresión, tensión, torsión y “pandeo”, sin romper los enlaces C-C.
- Alta resistencia termal.

Sus propiedades magnéticas y eléctricas pueden ser cambiadas encapsulando metales en su interior.



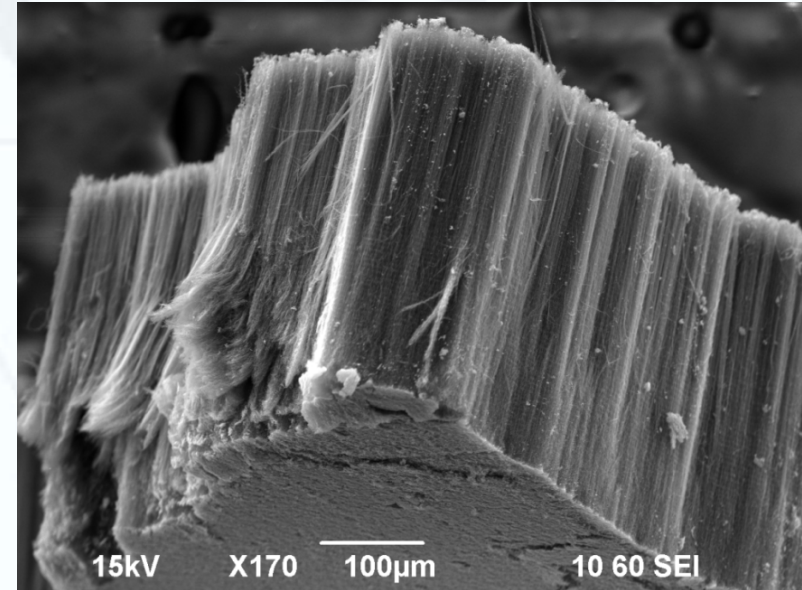
Professor S. Iijima and Ysmael Verde, IMRC 2011.





Principales Aplicaciones

- Almacenamiento de Hidrógeno.
- Sistemas de separación de gas
- Almacenamiento de información
- Emisores de Campo
- Producción y almacenamiento de energía eléctrica.
- Sensores super-sensitivos
- Materiales con alta resistencia mecánica.





A. II. CELDAS DE COMBUSTIBLE





PHYSICS TODAY

APRIL 2002

EARTH AT NIGHT. Electric lights gleam around our planet in this composite satellite image. At a glance, one can see the industrialized and urbanized regions of the world, which consume prodigious amounts of energy. That energy—for example, from fossil fuel combustion, nuclear fission, and hydropower—not only keeps the lights on but also runs transportation, heats buildings, and powers industries. The global energy challenge is this: How, with an ever-dwindling supply of fossil fuels, can we find long-term solutions that meet the energy needs of developed nations and provide the energy required for sustainable economic growth for all nations, while being mindful of both environmental stewardship and geopolitical realities? Our special issue begins to examine this challenge on page 38. (For details of the image, see page 5.)

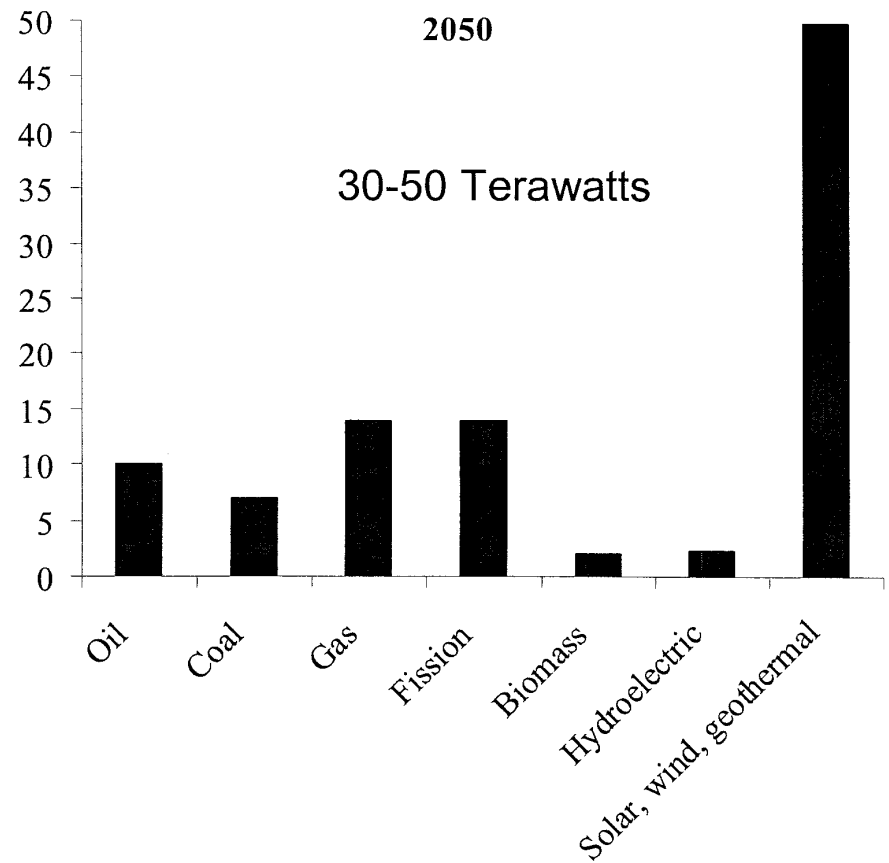
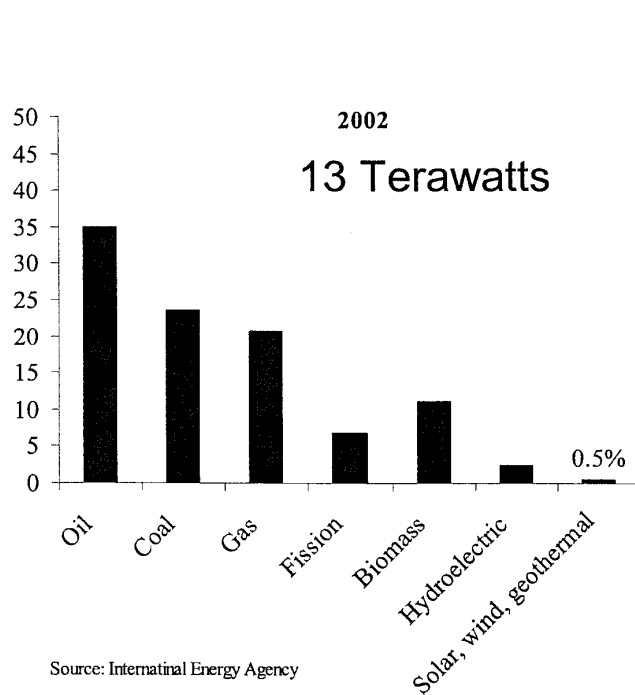


Se requiere una cantidad enorme de energía



(The Terawatt Challenge)

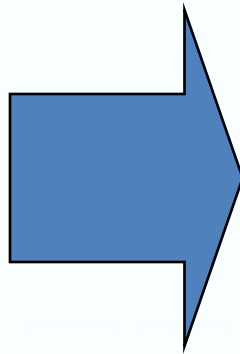
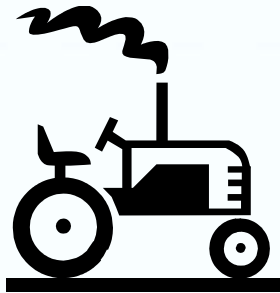
Sources of Energy Supply - Worldwide





NECESIDAD DE NUEVAS ALTERNATIVAS ENERGETICAS

NECESIDAD DE NUEVAS OPCIONES PARA GENERACION DE ENERGÍA



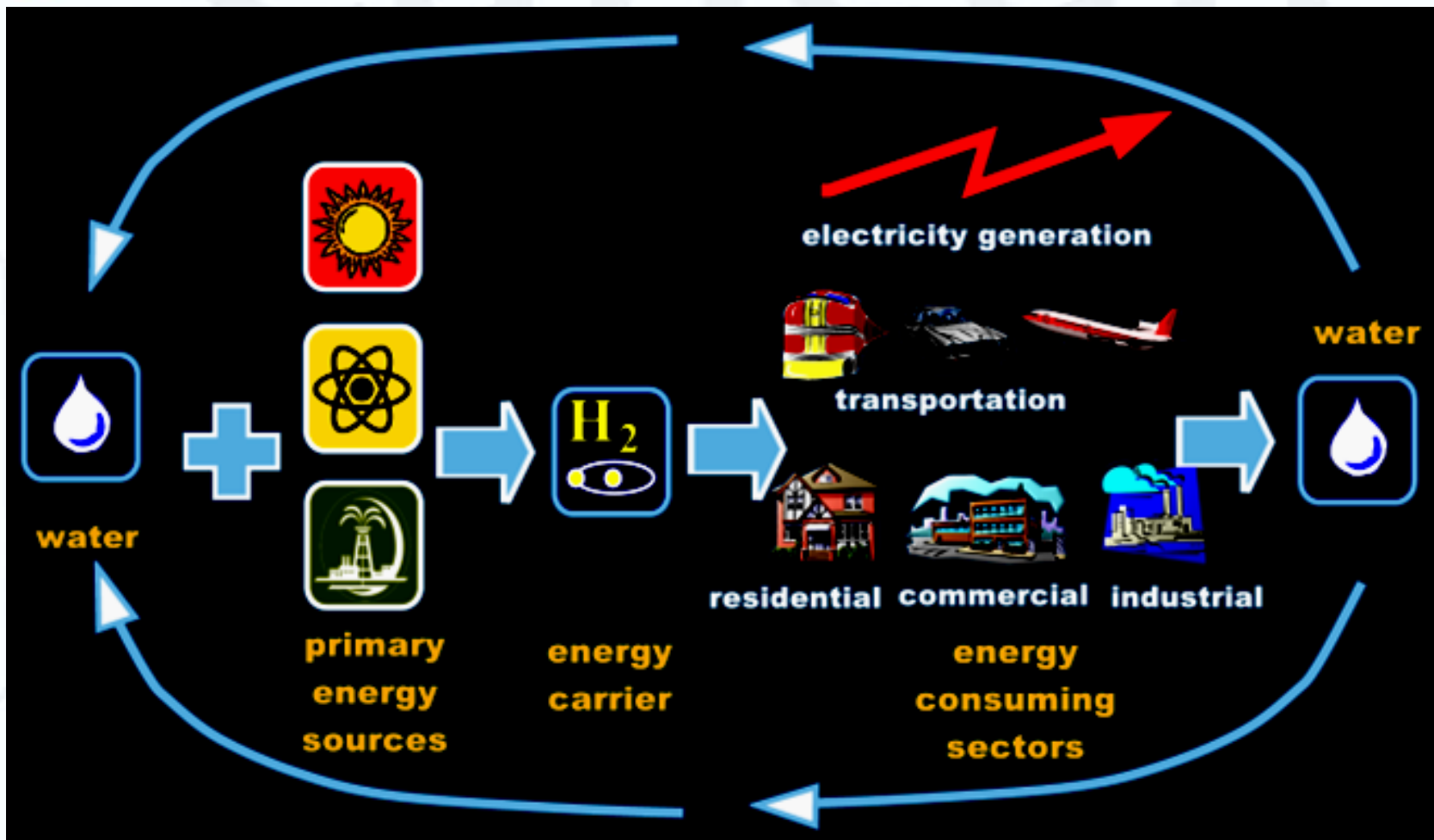
- ◆ Mínimo impacto al medio ambiente.
- ◆ Mejoren la eficiencia de la conversión de energía.
- ◆ Fomenten el uso de nuevos combustibles (H_2).
- ◆ Creación de tecnologías generadoras de electricidad *in situ*.

Una de las tecnologías emergentes en el ámbito de generación de energía eléctrica, es la **Tecnología del Hidrógeno**





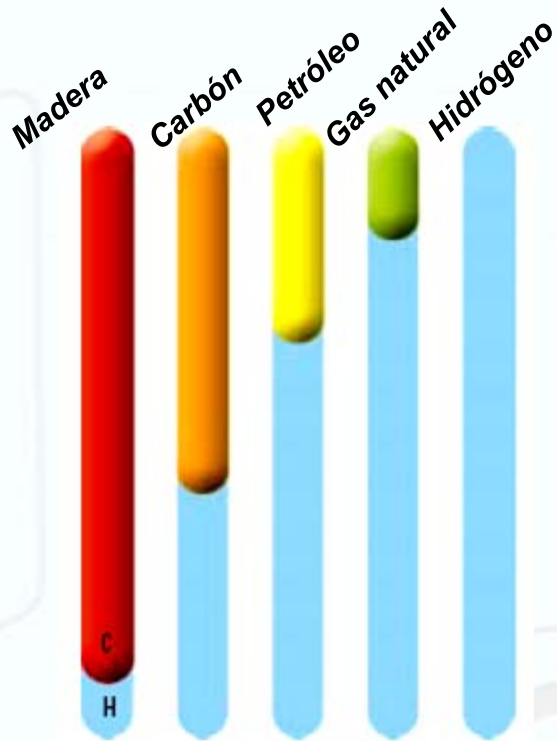
Hidrógeno como vector energético?



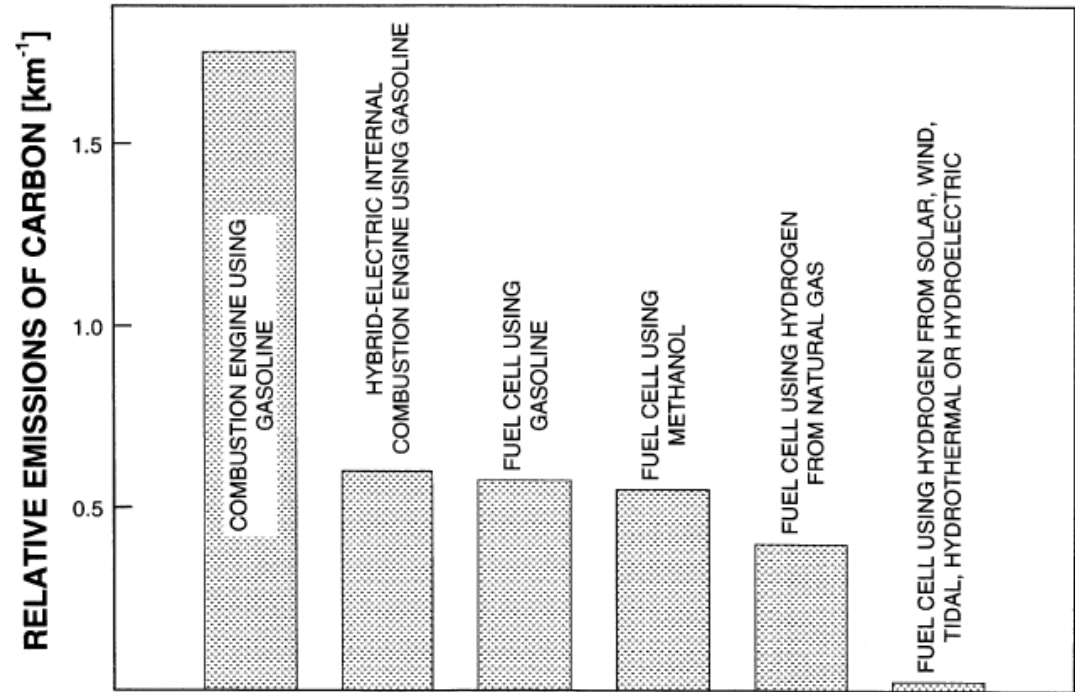


EMISIONES DE GASES

Comparativo entre las emisiones de gases invernaderos de vehículos con maquina de combustión interna y vehículos basados en celdas de combustibles.



C = carbono H=hidrógeno

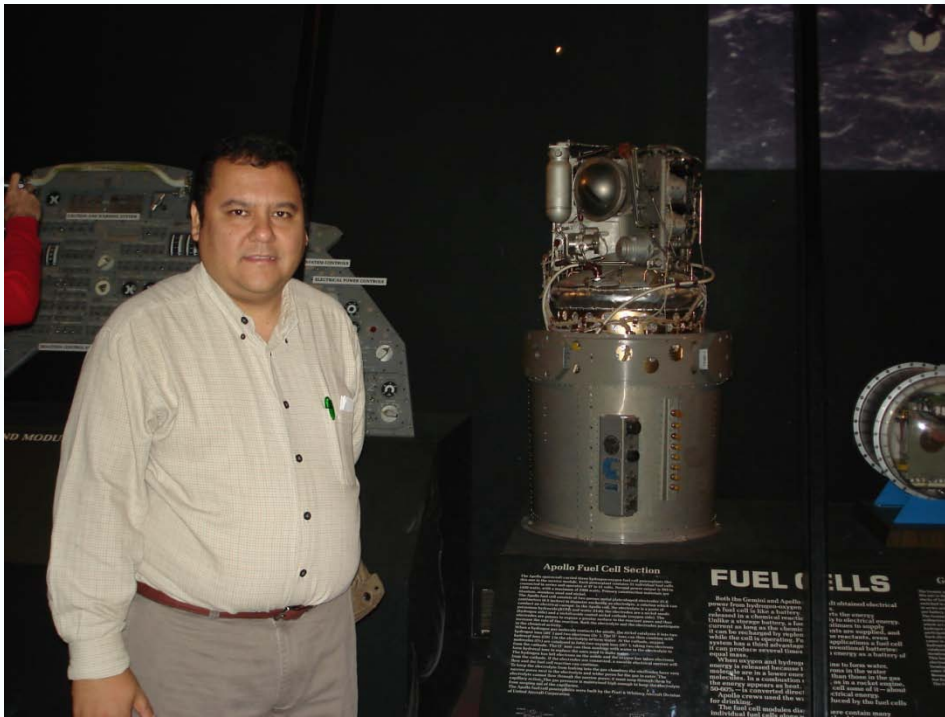


The Economist Technology (2001)





CELDA DE COMBUSTIBLE (FUEL CELL)



Un celda de combustible es un convertidor energético electroquímico, que transforma la **energía química** de un combustible en **energía eléctrica** directamente, sin la mediación de procesos mecánicos.





INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CANCÚN

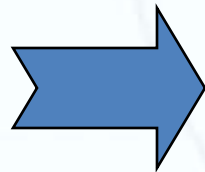
Tipo	Acrónimo	Temp. Operac., °C	Material del Electrolito	Capacidad	Eficiencia	Aplicaciones
Alcalinas	AFC	65 – 220	Hidróxido de potasio líquido	Hasta 250 kW	70 %	<ul style="list-style-type: none">•Espaciales•Fuerza área
Membrana de Intercambio Protónico y Metanol Directo	PEMFC DMFC	25 – 80	Membrana de Intercambio Protónico	De 3 Kw hasta 250 kW	60 %	<ul style="list-style-type: none">•Generadores de energía estacionaria•Vehicular.•Portátiles.•Habitación
Ácido fosfórico	PAFC	175 –205	Ácido fosfórico líquido disperso en Teflón y Silicio.	De 12 kW hasta 11 MW	40 % y 75 % *	<ul style="list-style-type: none">•Generadores de energía estacionaria•Vehículos Grandes
Carbonato Fundido	MCFC	540 –650	Carbonato de sodio o potasio en una matriz de óxido de aluminio y litio.	De 250 kW hasta 2 MW	50 % y 65 %	<ul style="list-style-type: none">•Generadores de energía estacionaria
Oxido Sólido	SOFC	600-1000	Zirconia sólida itria estabilizada.	Hasta 250 kW	50 % y 65 % *	<ul style="list-style-type: none">•Generadores de energía estacionaria



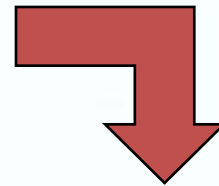
Aplicaciones

Mobile:

- ◆ Cars, 75 kW
- ◆ Buses, 250 kW
- ◆ Submarines.



Pure Hydrogen
Methanol
Gasoline
 Metal Hydrides

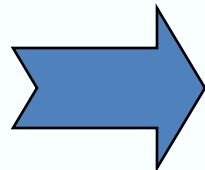


Reforming:

- ◆ 40-70 % H₂
- ◆ 15-25 % CO₂
- ◆ 1-2 % CO

Stationary Power Generation:

- ◆ House, 3-5 kW
- ◆ Industrial, 250 – 1 MW

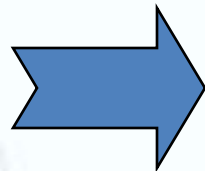


Natural Gas

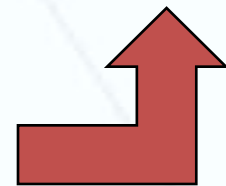


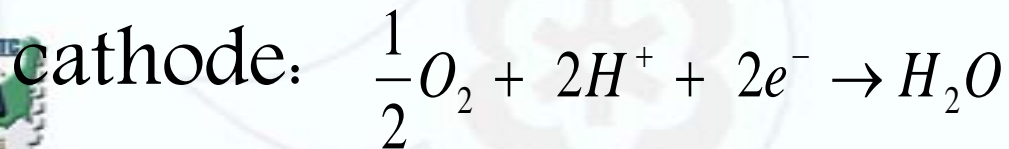
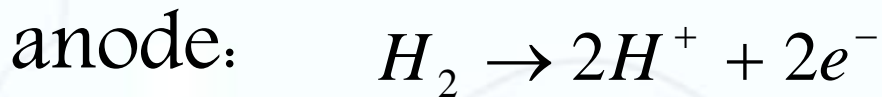
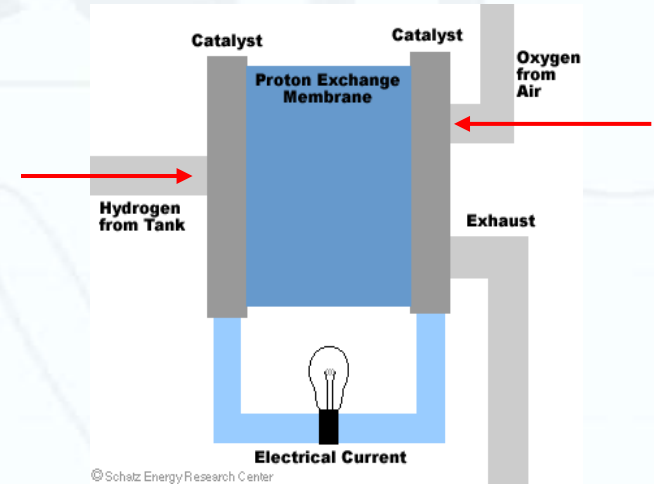
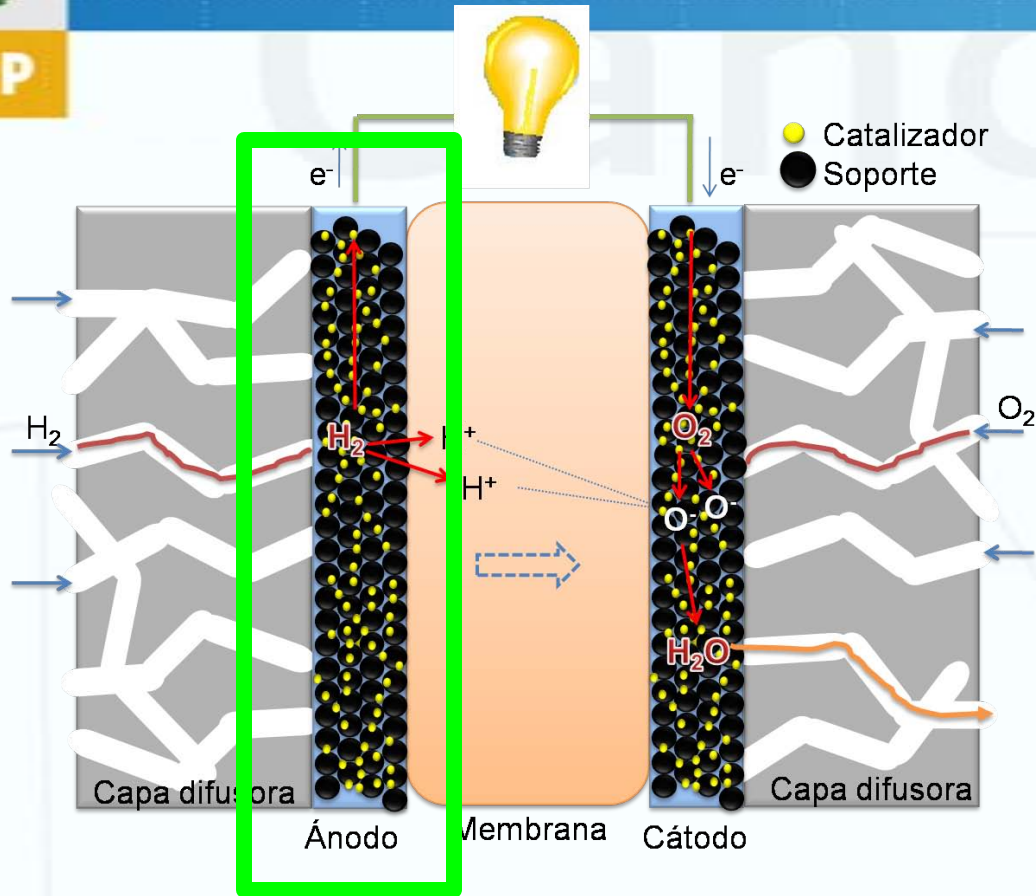
Portable (mW to some W):

- ◆ Computers
- ◆ Communications Systems

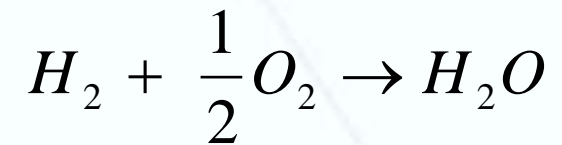


Metal Hydrides
Methanol
 Pure Hydrogen





Full reaction:



Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells (PEMFC)

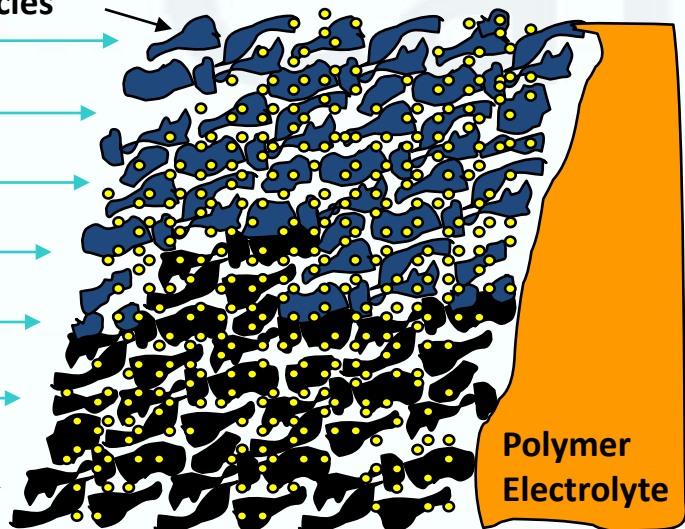




SEP

carbon particles

Gas



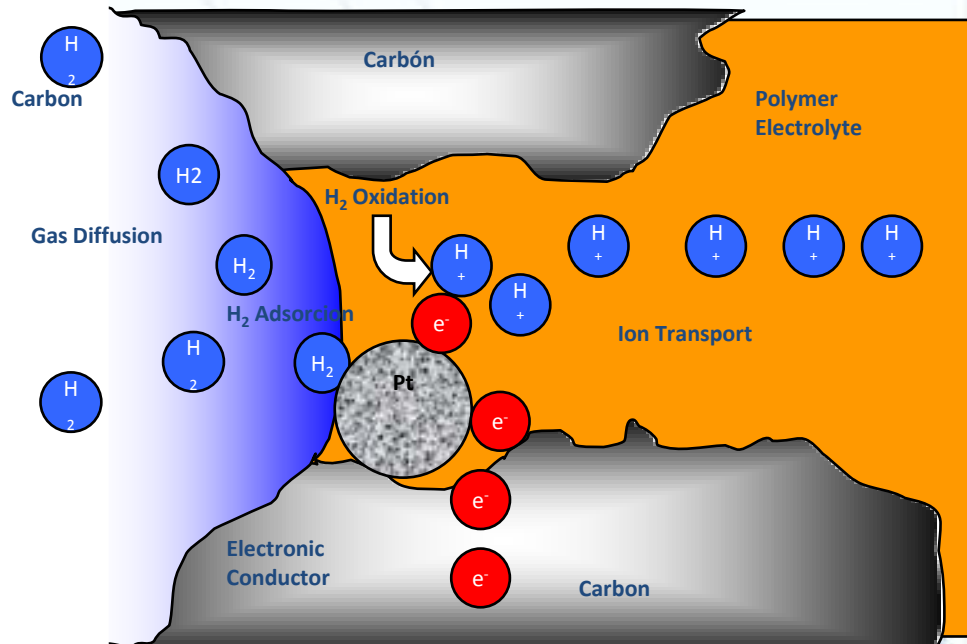
catalyst particles

Polymer Electrolyte

The reaction site

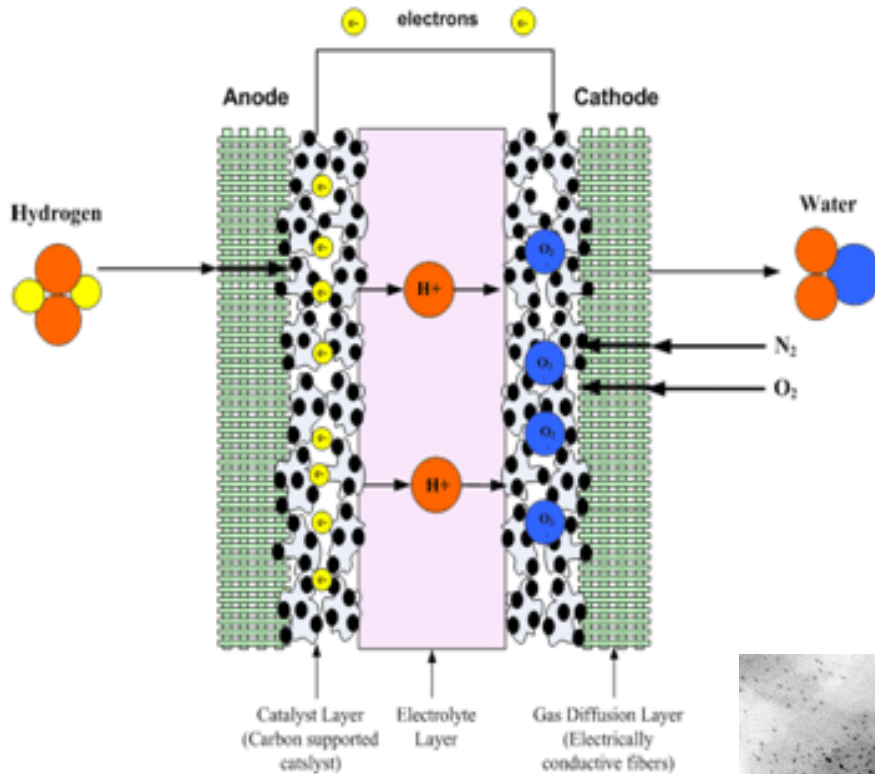
ANODE REACTION

Catalyst Layer

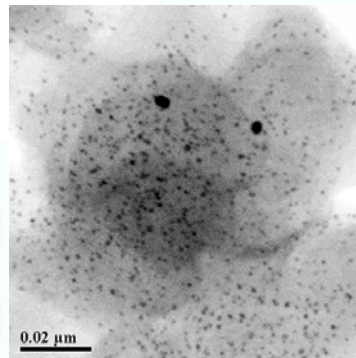
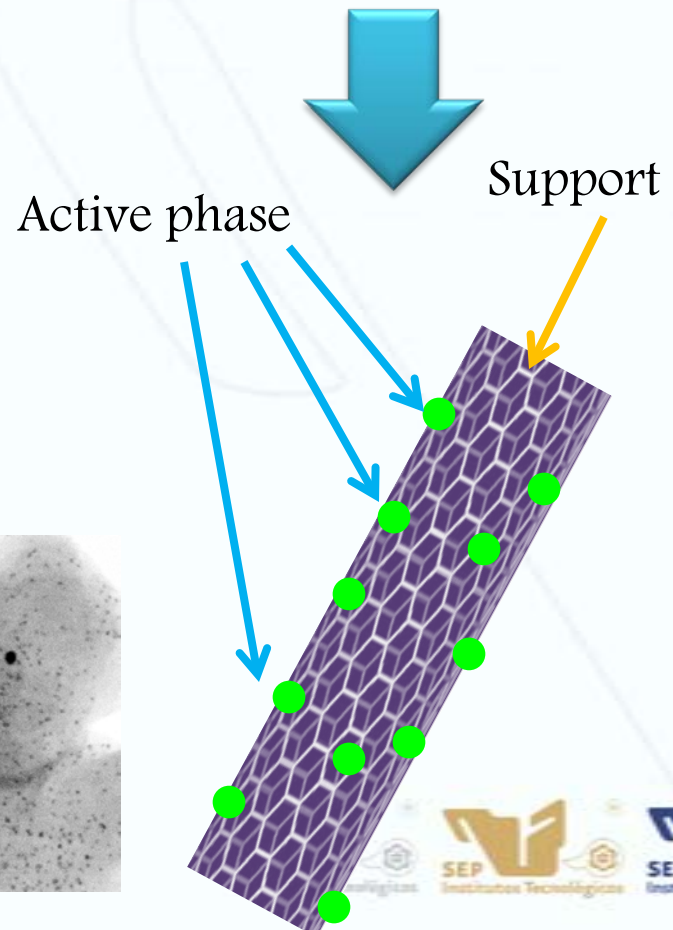




NTC como soporte de Metal en Catalizadores de Celdas



CATALYST



Challenges:

- Reduce metal loading
- Increase catalyst stability





II. EXPERIMENTAL WORK

1.MWCNT Synthesis

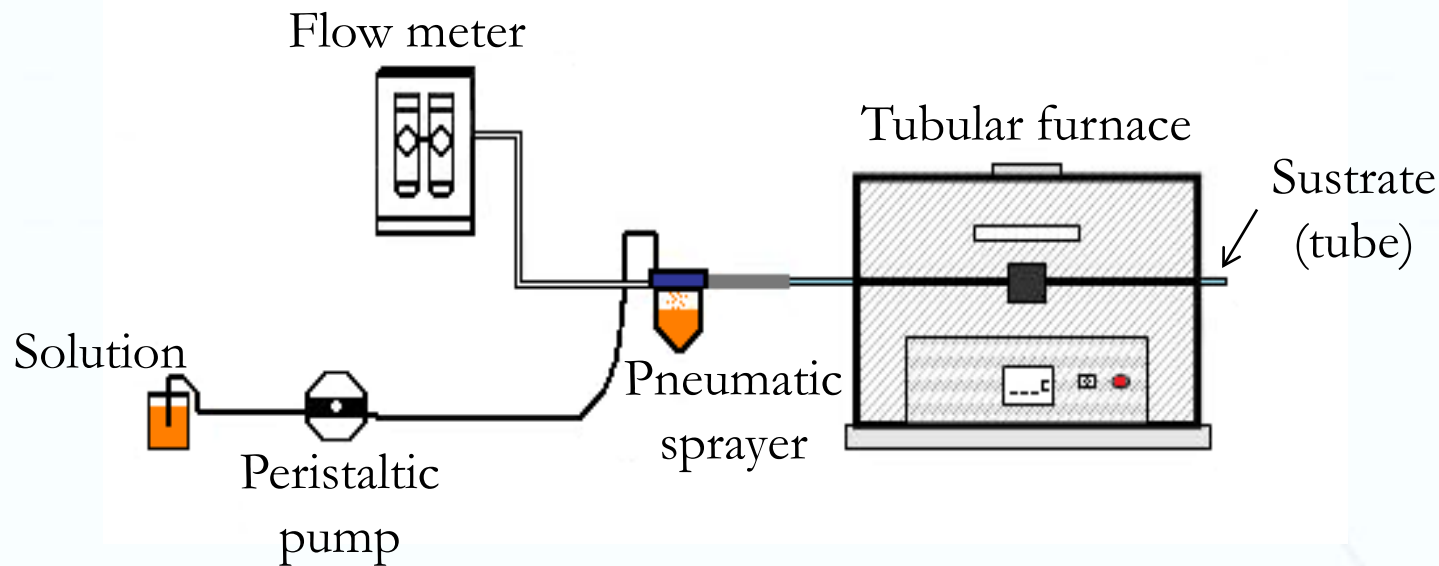
2.Nanoparticles on MWCNT

3.Electrochemical Applications



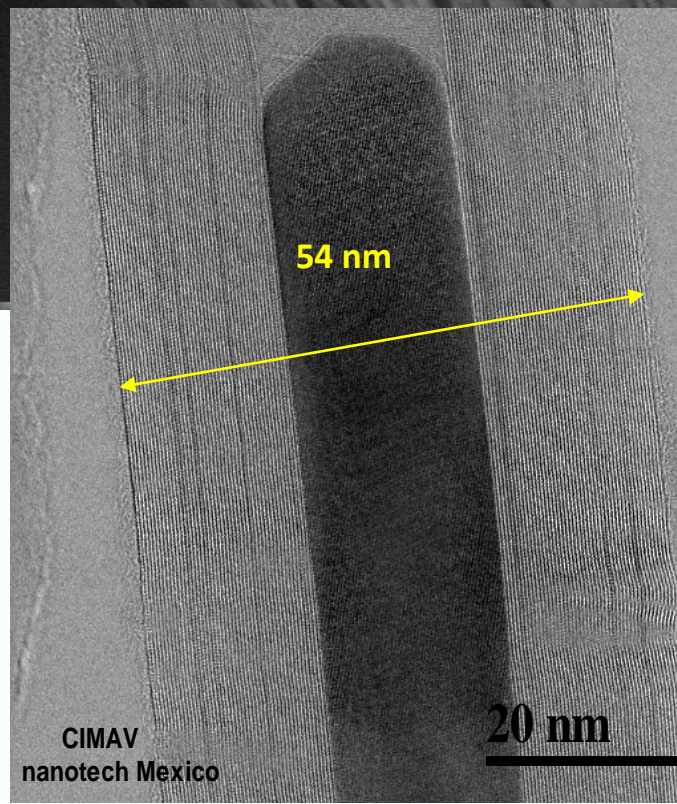
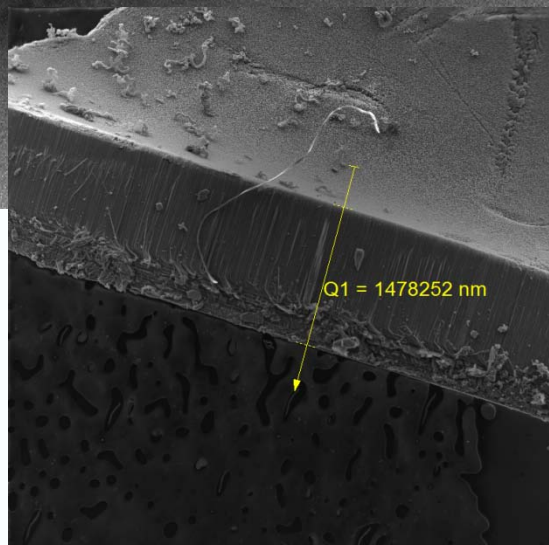
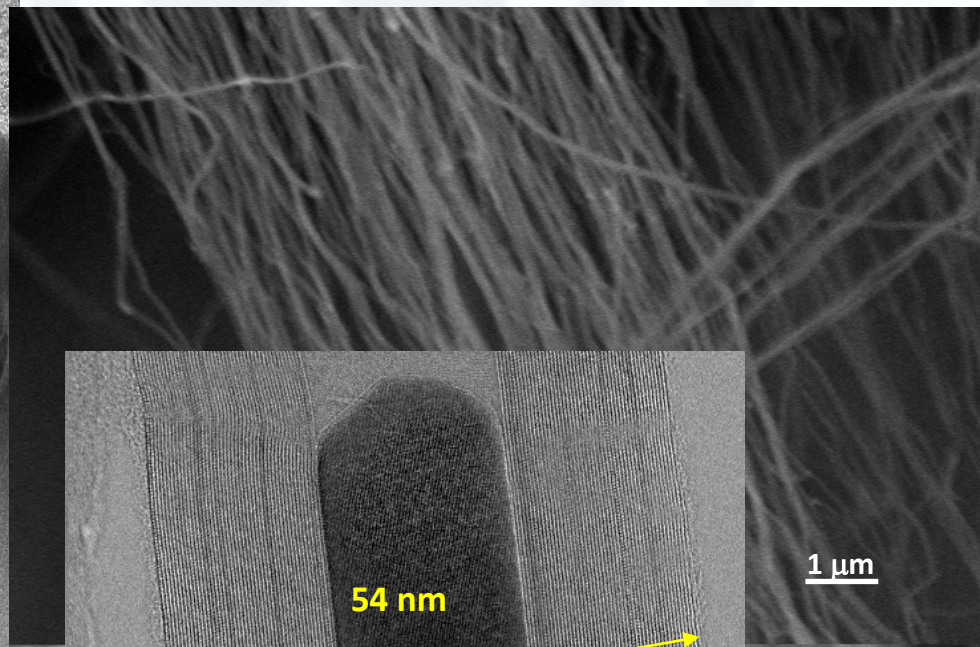
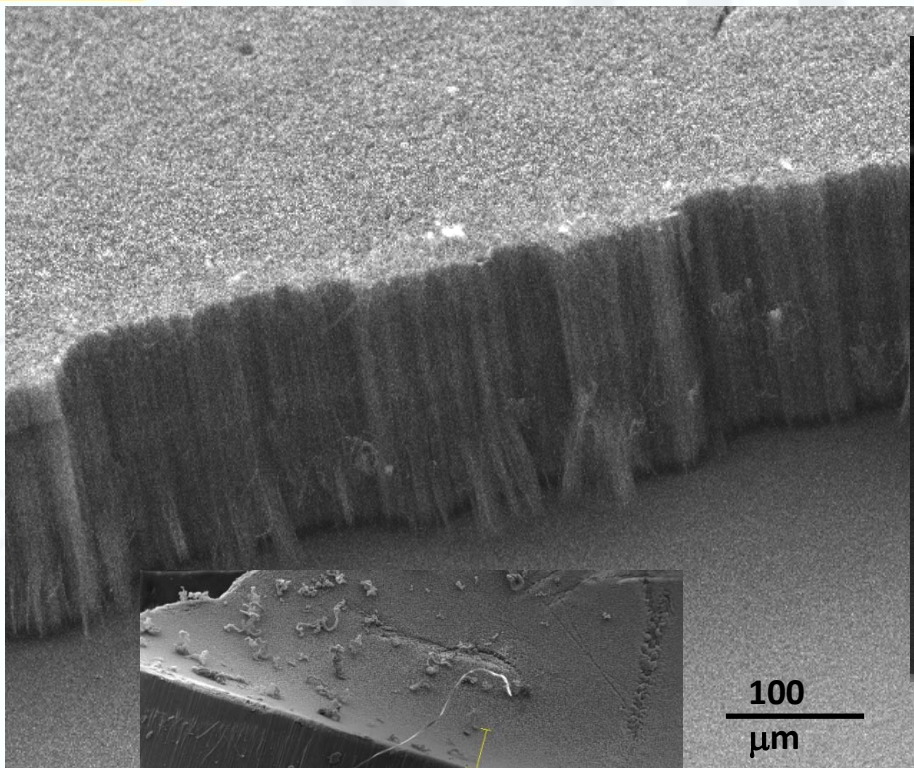


Síntesis de NTC





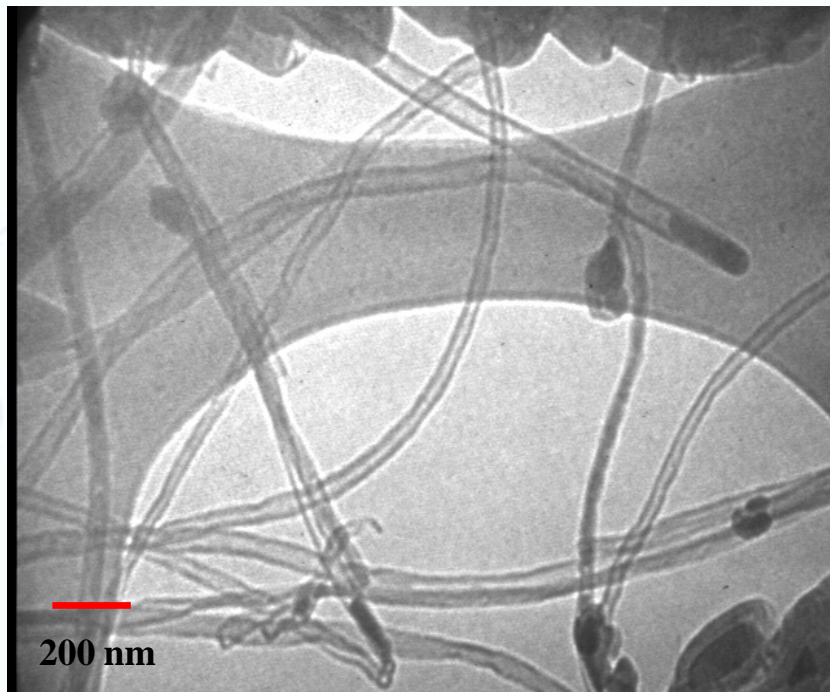
SEM de NTC



SEM HV: 10.00 kV WD: 26.25 mm VEGA3 TESCAN
View field: 5.63 mm Det: SE 1 mm
SEM MAG: 34 x Date(m/d/y): 09/10/10 Micra Demo Lab



NTC con Tolueno y diversos catalizadores de $[(\text{Pentyl})_4\text{N}]_3\text{FeCl}_3\text{Br}_3$



Verde et al, Optical Materials, 2006,

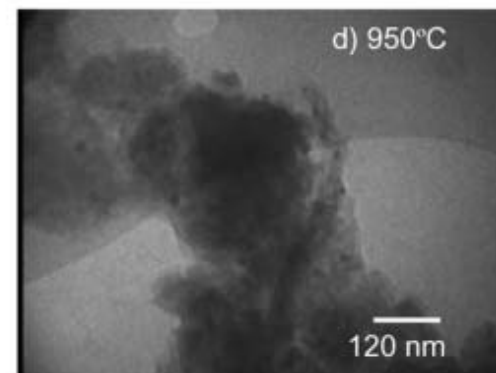
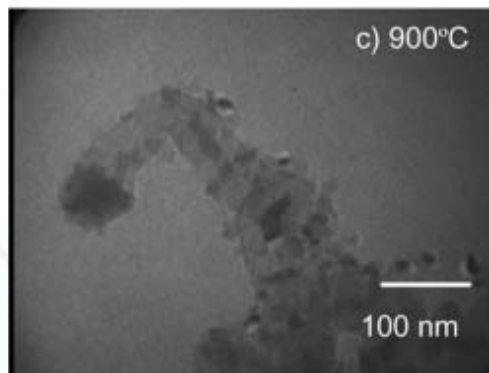
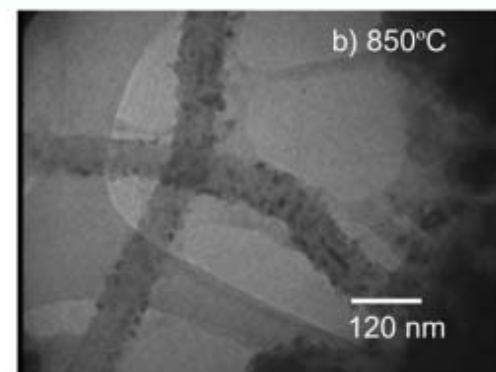
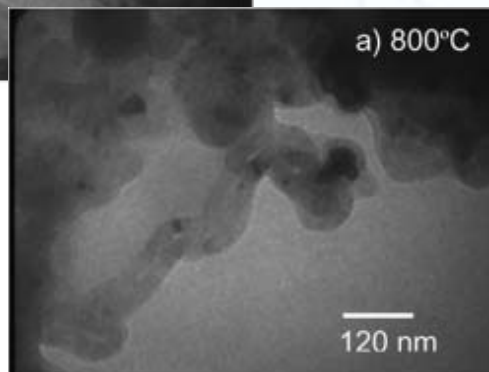
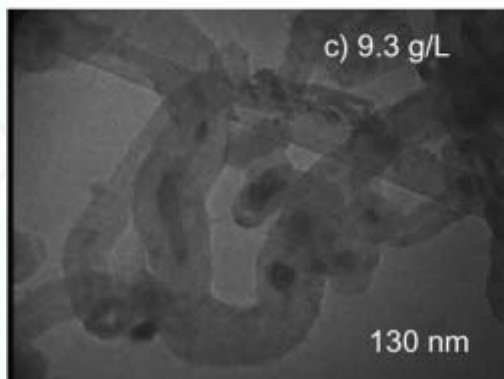
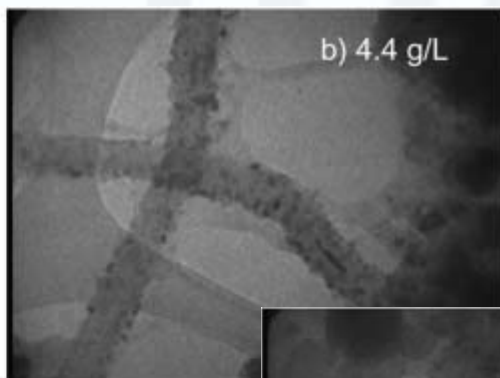
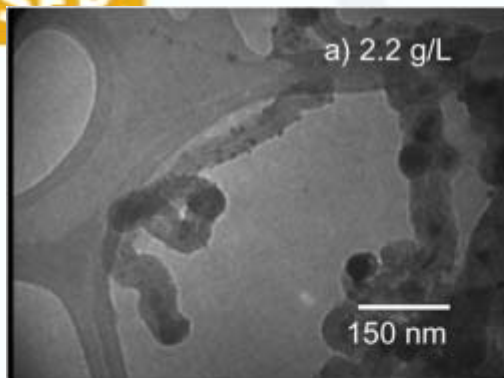


Verde et al, Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 2008





NTC with Niquelocene.





II. EXPERIMENTAL WORK

1.MWCNT Synthesis

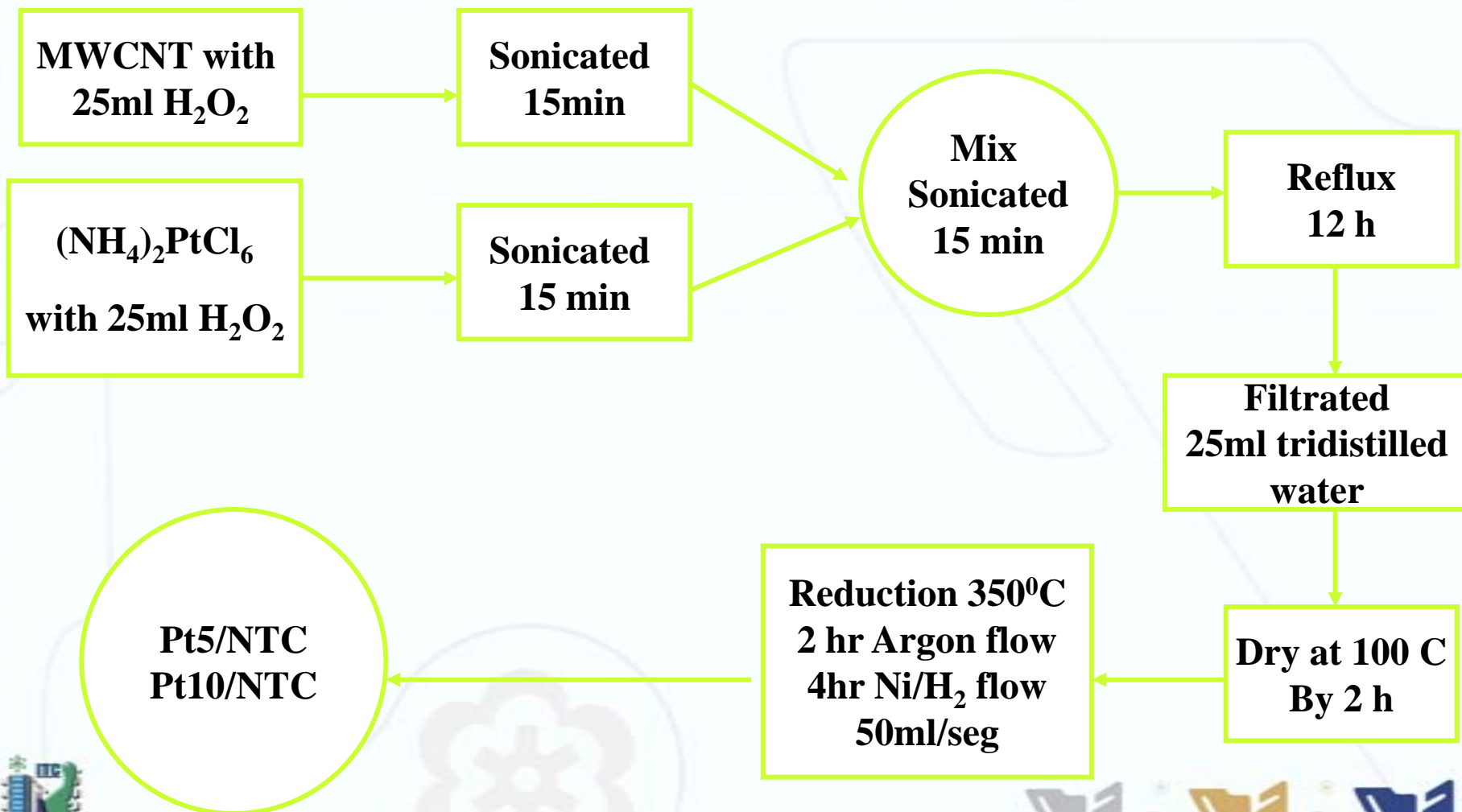
2.Nanoparticles on MWCNT

3.Electrochemical Applications



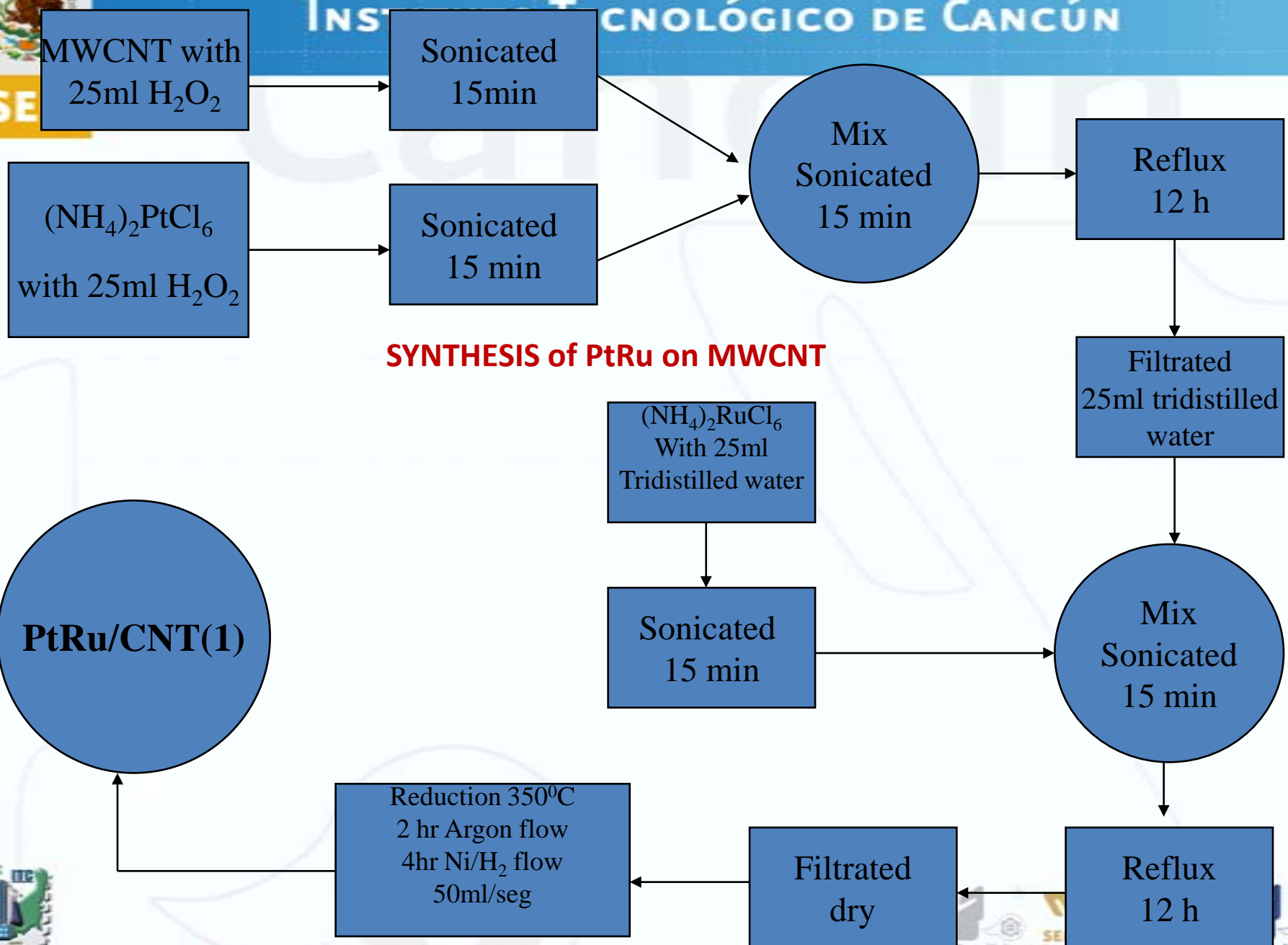


Pt/MWCNT SYNTHESIS



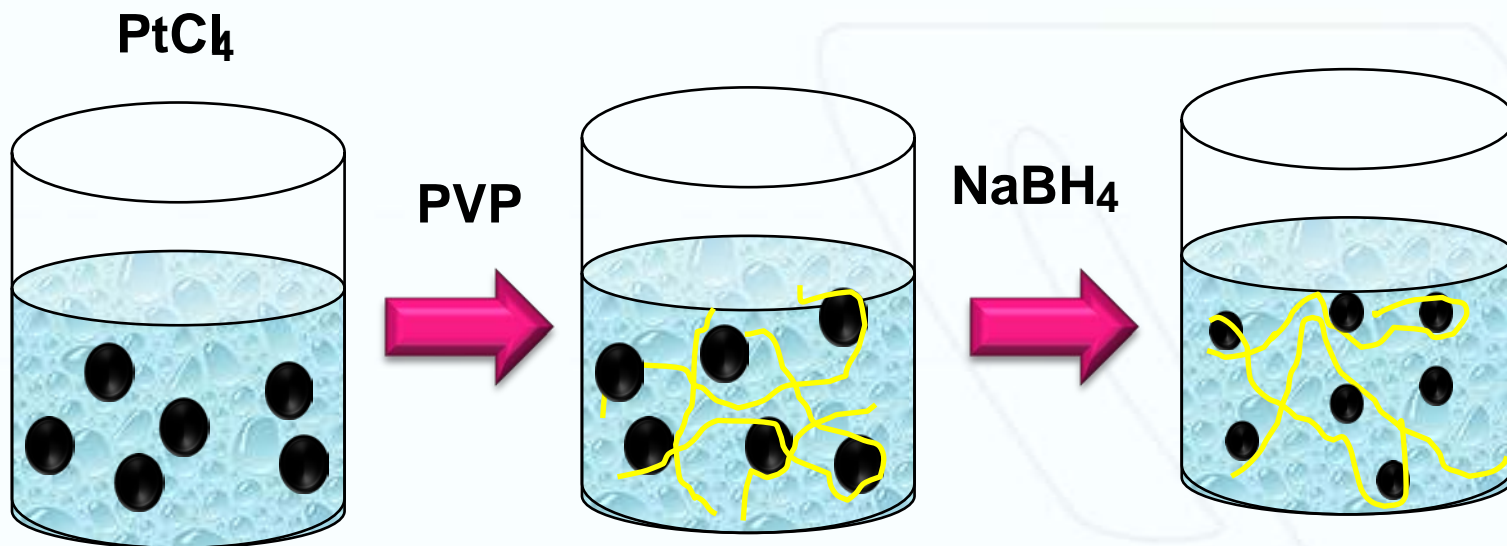


SE



SYNTHESIS of PtRu on MWCNT



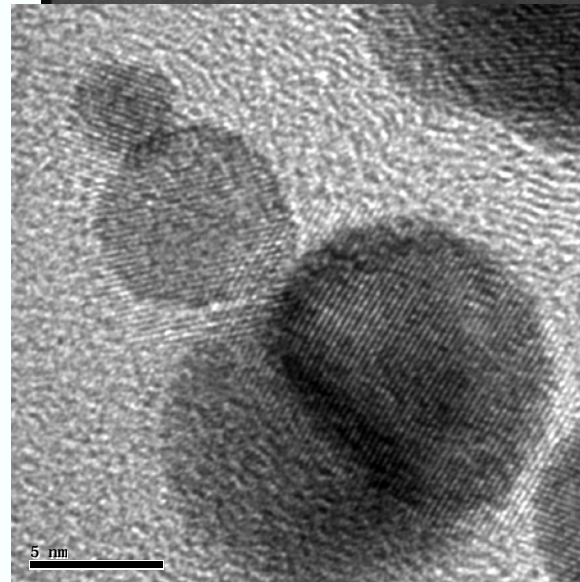
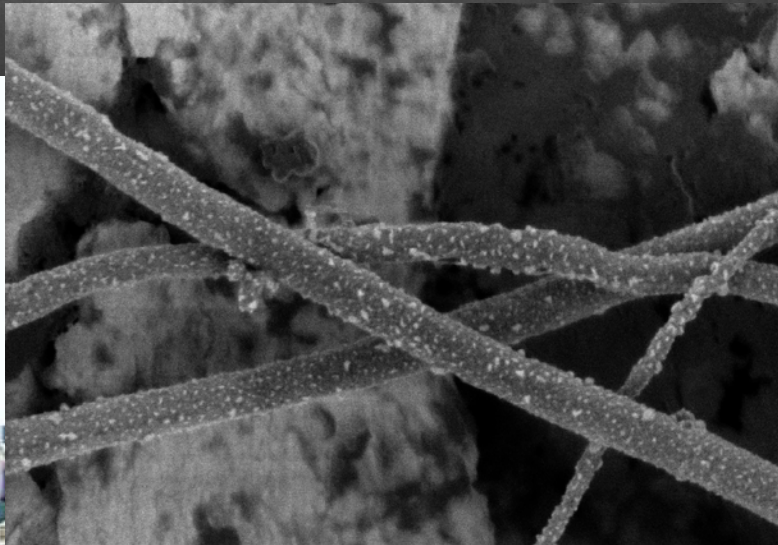
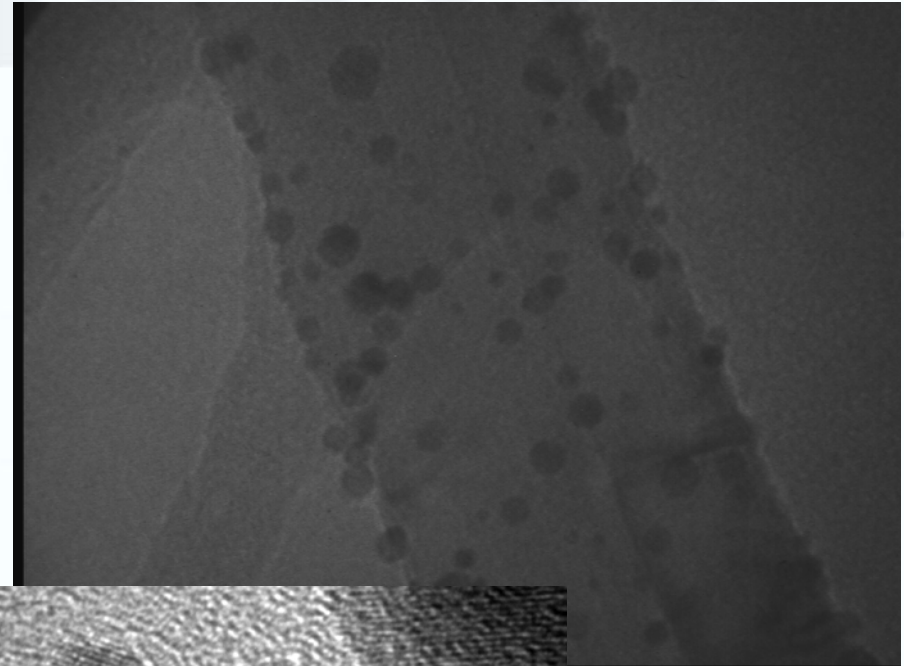
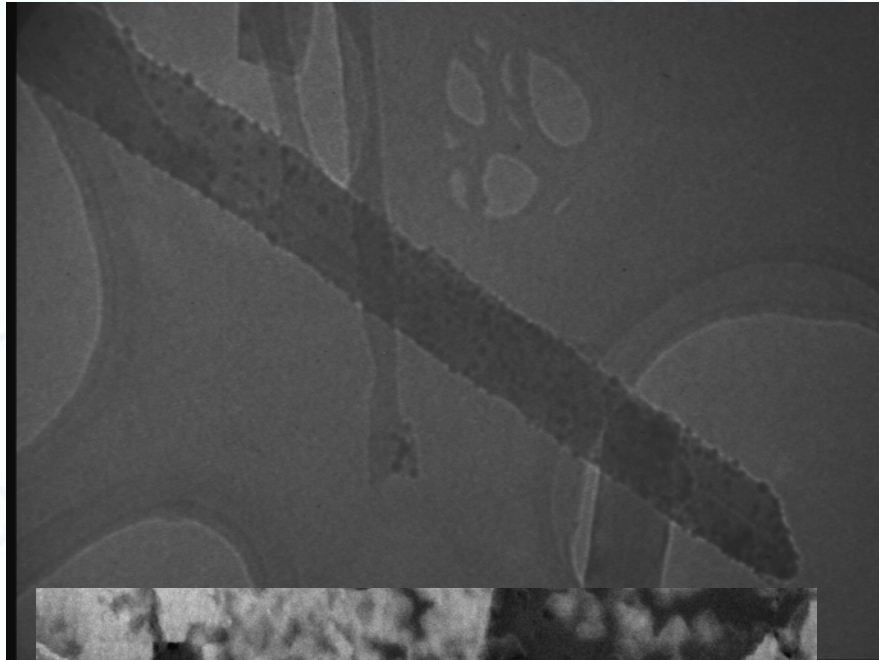


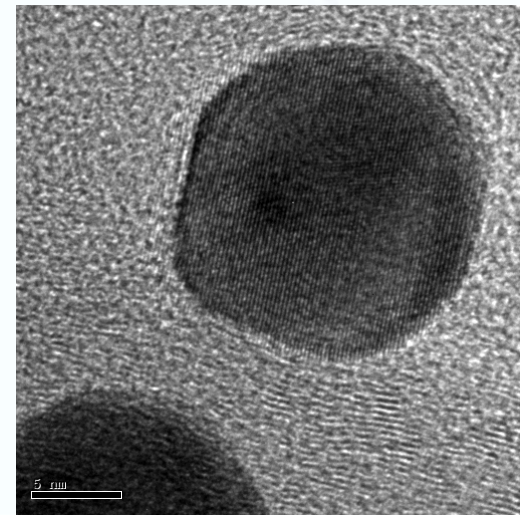
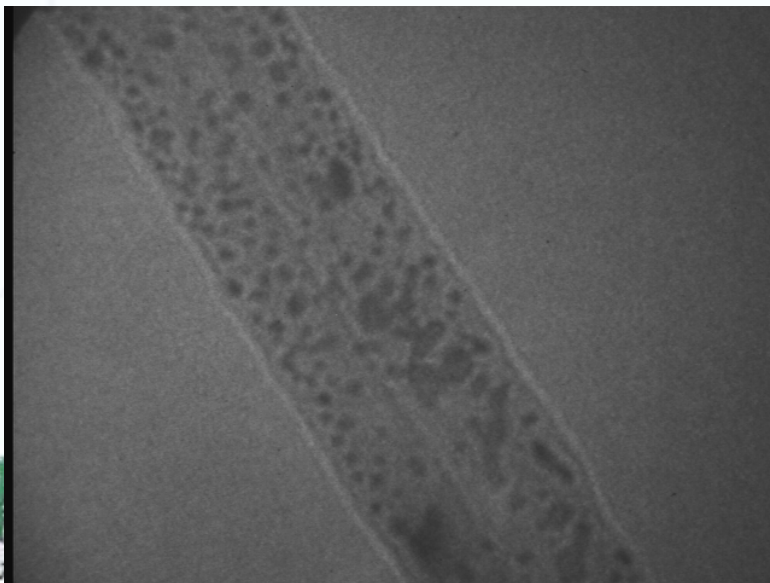
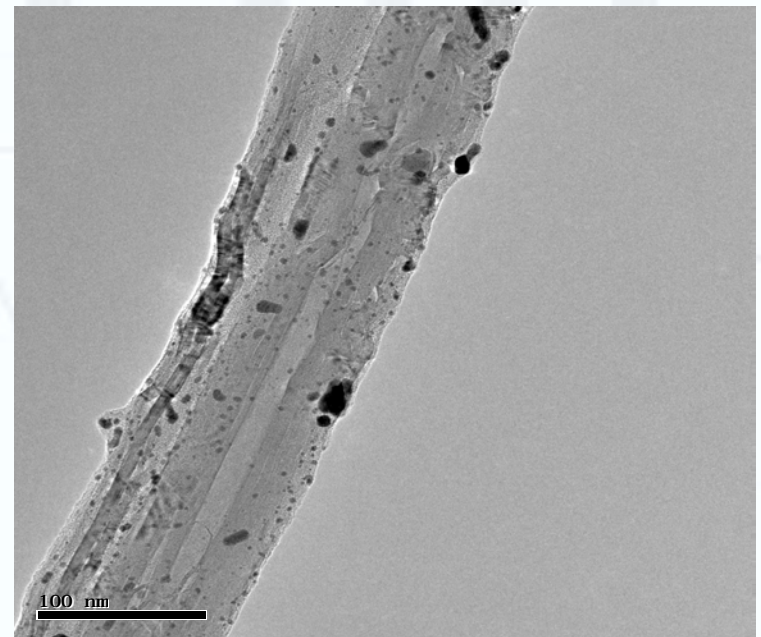
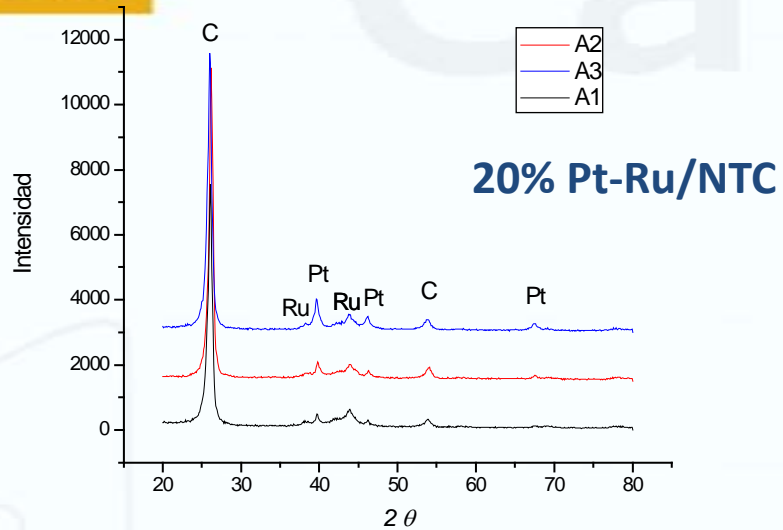
Verde et al. J. Power Sources, under review



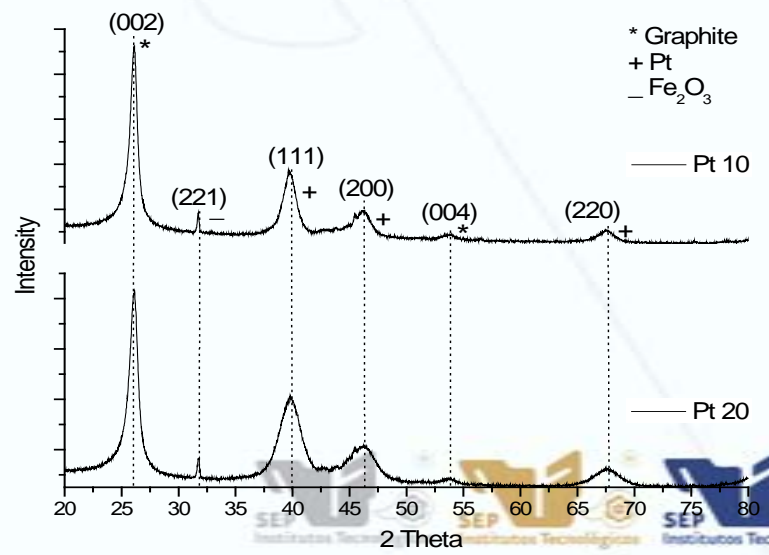
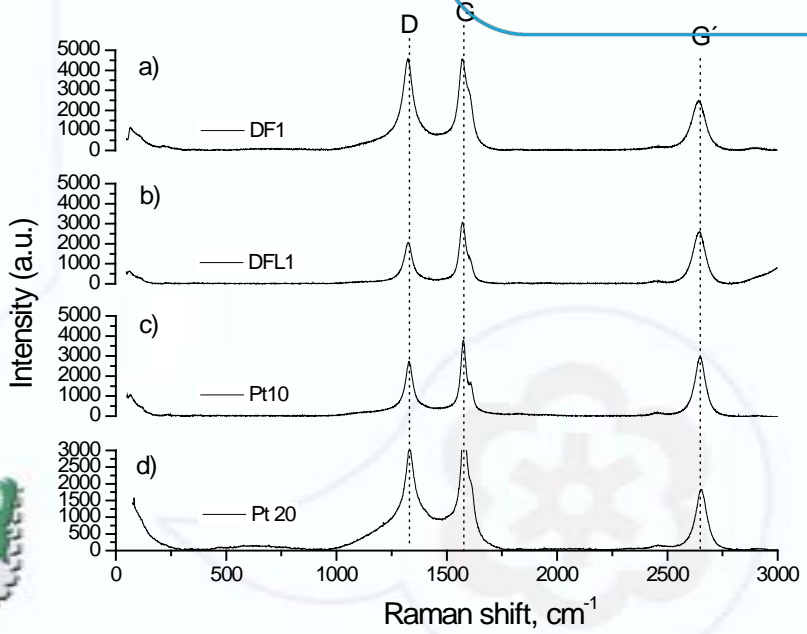
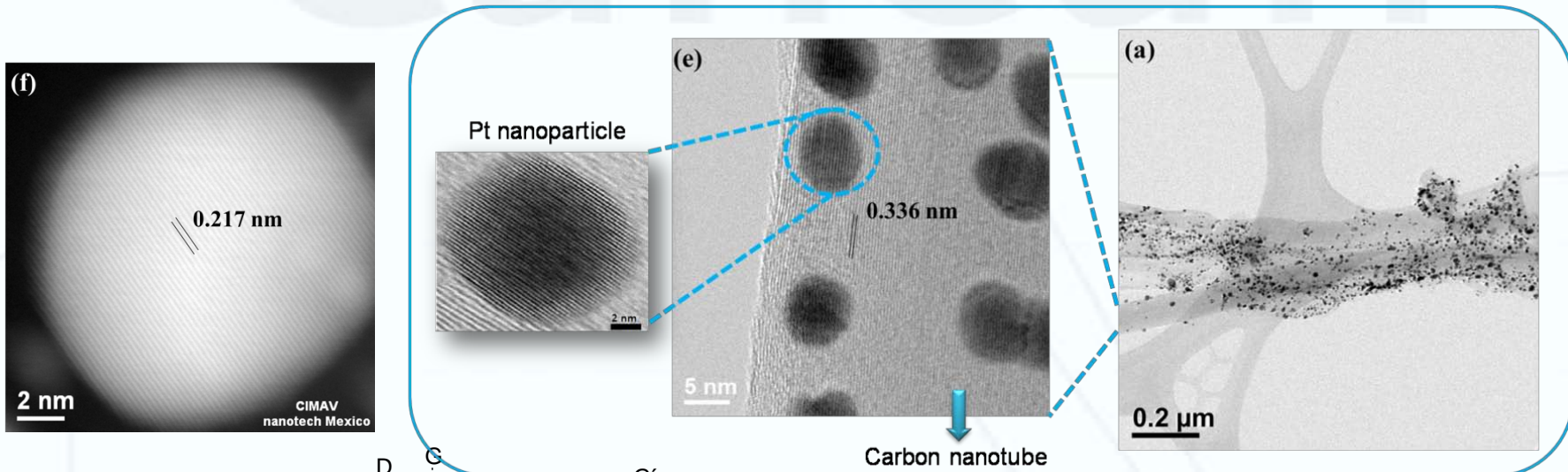


Pt/NTC (4% Pt, 9 % Pt y 20% Pt)





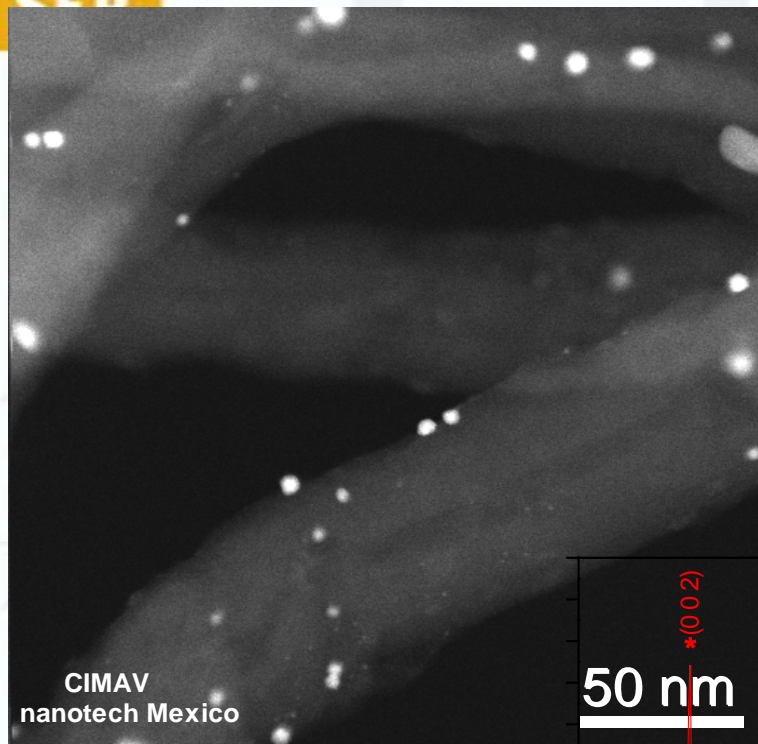
Pt/ Carbon nanotubes via colloidal synthesis



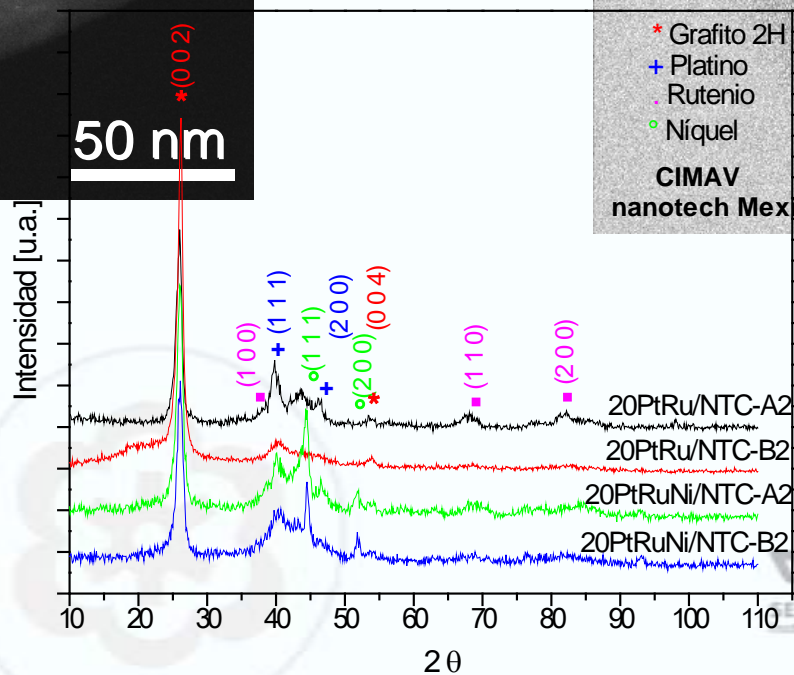
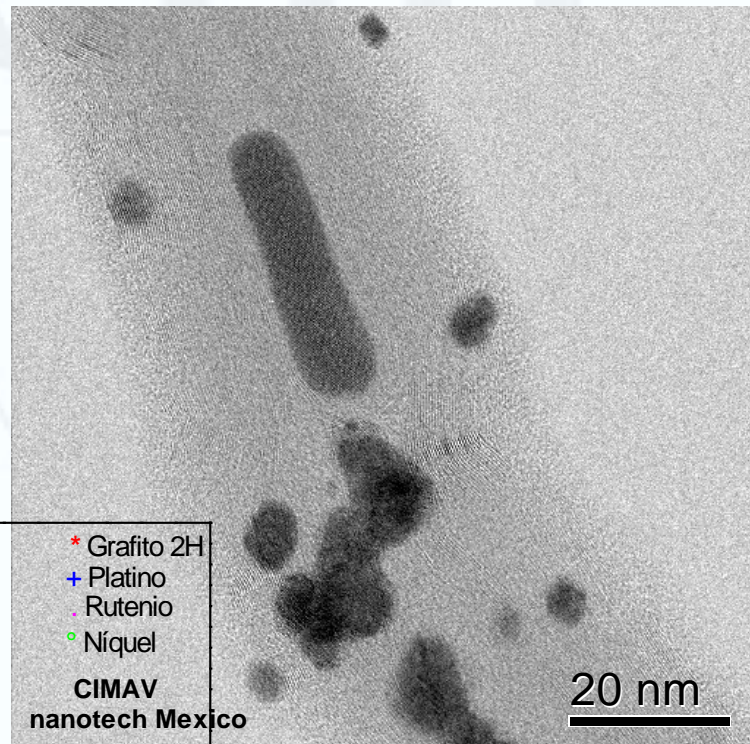


SEP

PtNi/CNT-A



PtRuNi/CNT-A





II. EXPERIMENTAL WORK

1. MWCNT Synthesis

2. Nanoparticles on MWCNT

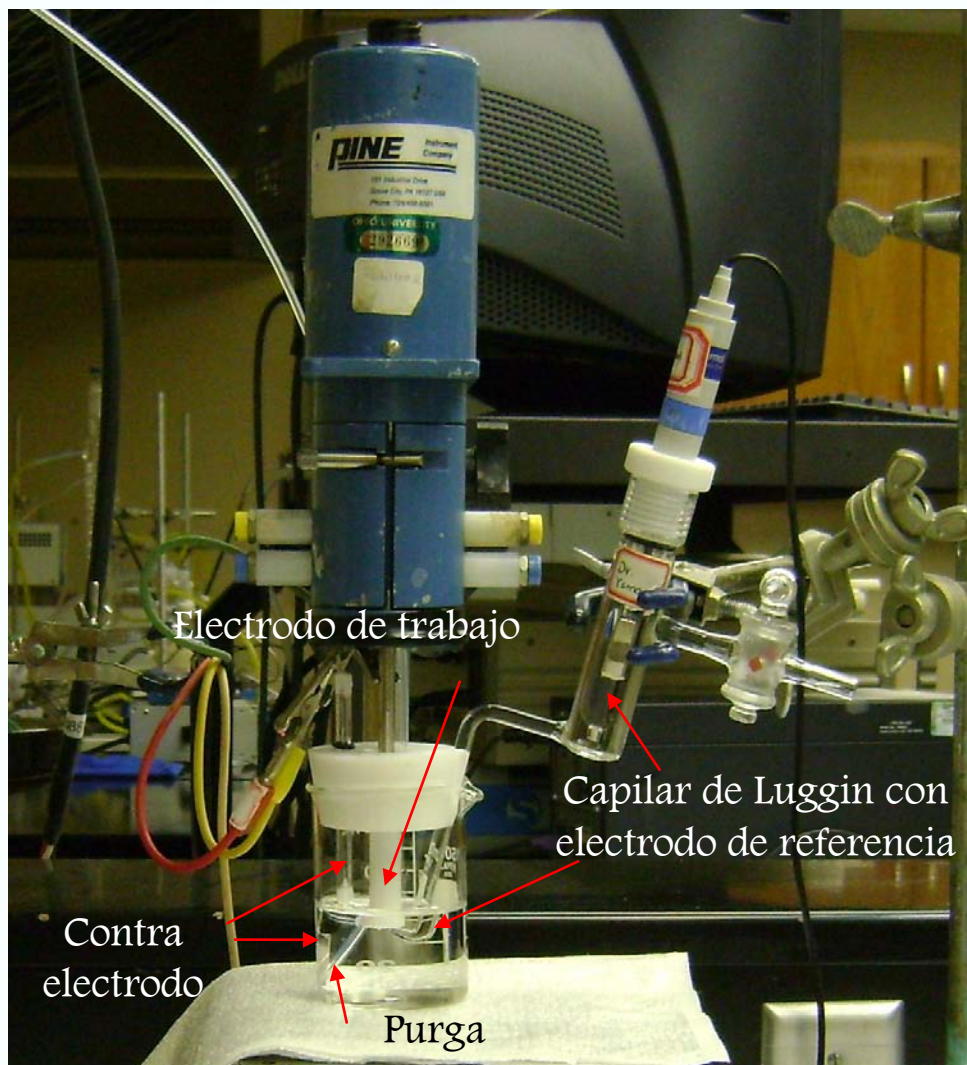
3. Electrochemical Applications





Celda de tres electrodos:

- Ag/AgCl (Sat KCl) referencia
- Pt (2 cm²) contraelectrodo
- H₂SO₄ 0.5 M electrolito
- 10mVs⁻¹





ÁREA ELECTROQUÍMICAMENTE ACTIVA

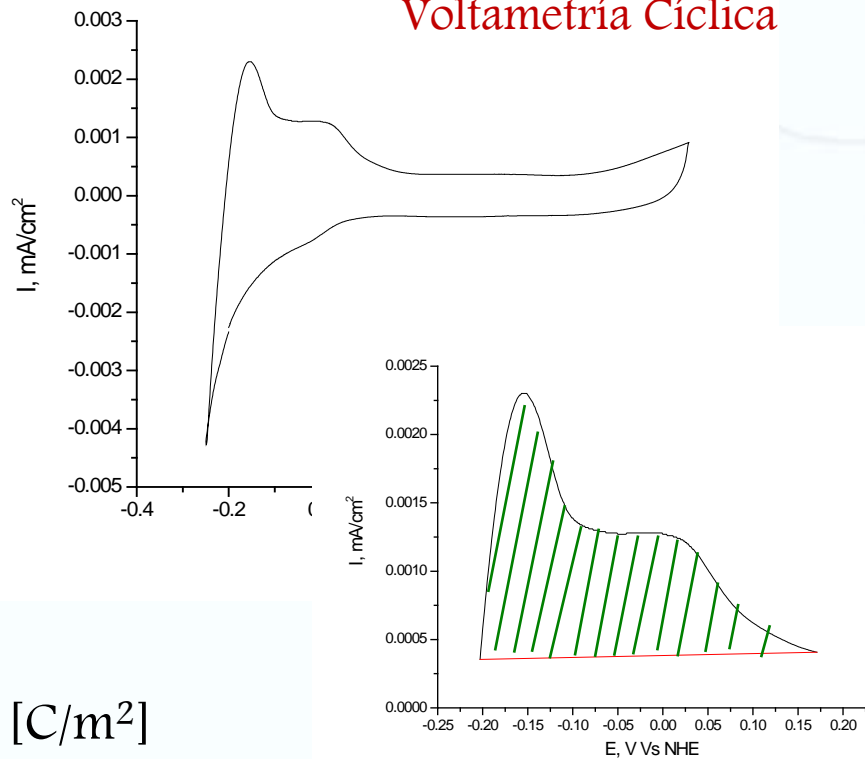
$$A_{EA} = \frac{Q}{\mu_{Pt} L} \left[\frac{m^2}{g} \right]$$

Q = Carga para la desorción de hidrógeno [C/m²]

μ_{Pt} = Carga necesaria para oxidar una mono capa de hidrógeno sobre la superficie de Pt [2.1 C/m²]

L = Cantidad de Pt sobre el electrodo [g/m²]

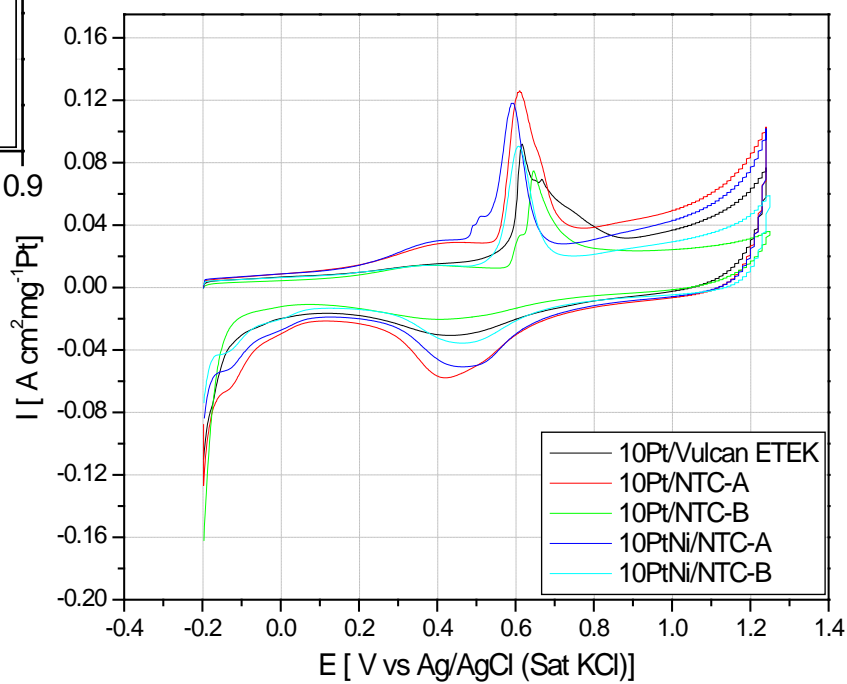
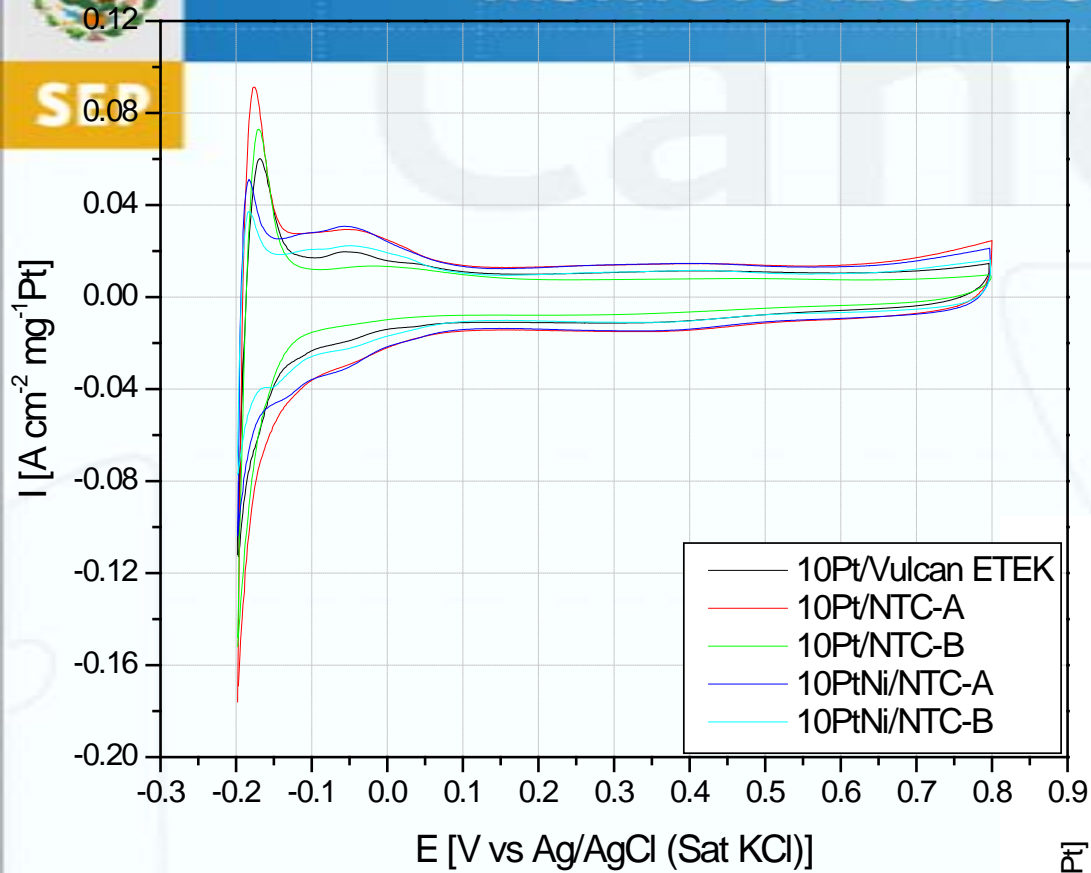
Voltametría Cíclica





SEP

10%Pt



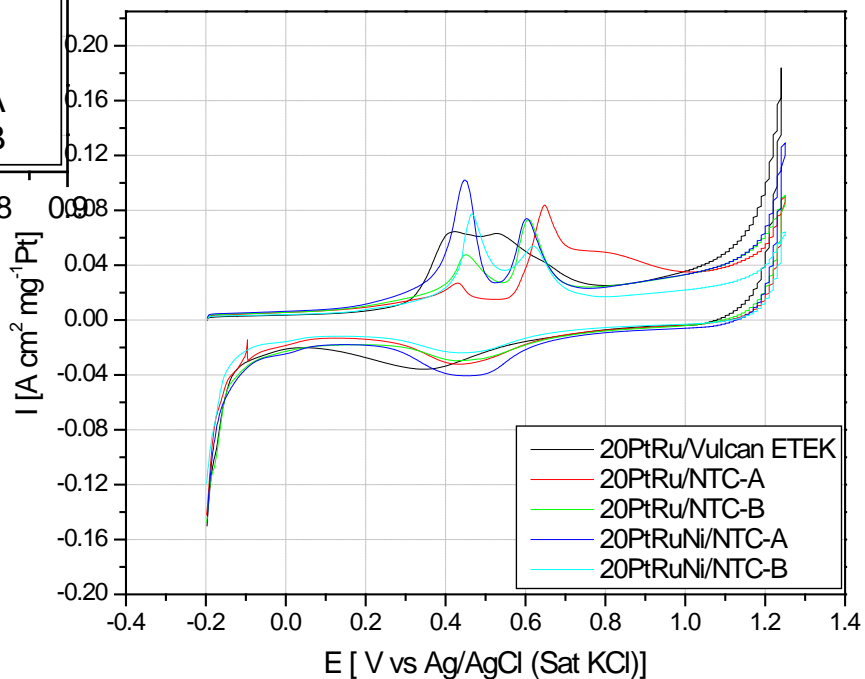
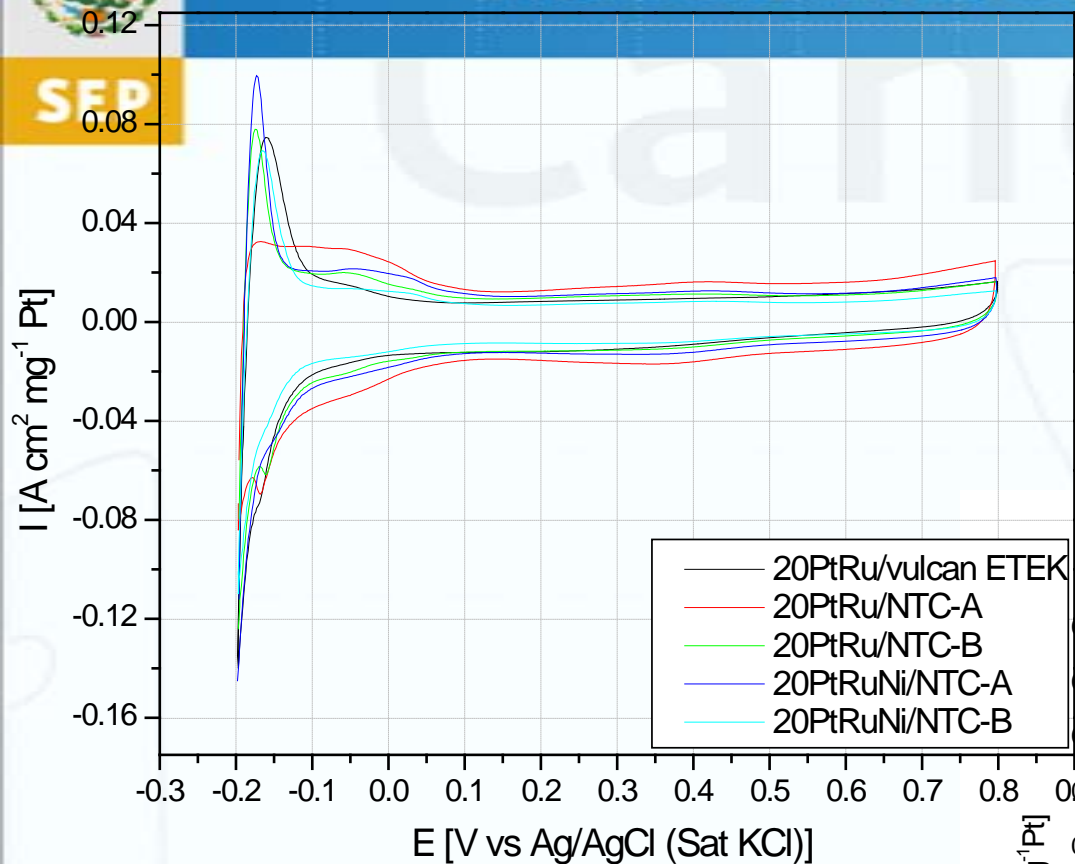
Catalizador	AEA [$\text{m}^2 \text{gr}^{-1}$]		Part Pt [nm]
	VC	CO	
10Pt/Vulcan ETEK	142	174	
10Pt/NTC-A	★ 233	235	2-10
10Pt/ NTC-B	147	144	5-7
10PtNi/ NTC-A	186	226	5-10
10PtNi/ NTC-B	142	152	6-10





SEP

20%PtRu

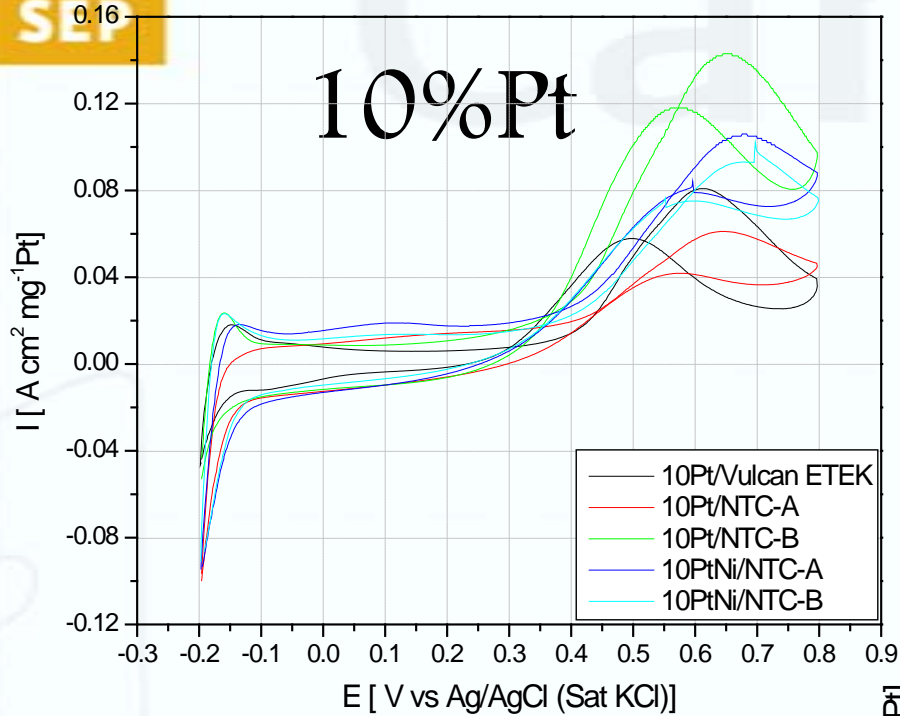


Catalizadores	AEA [m ² gr ⁻¹]		Part Pt [nm]
	VC	CO	
20PtRu/Vulcan ETEK	187	306	
20PtRu/NTC-A	182	273	5-10
20PtRu/NTC-B	176	181	5
20PtRuNi/NTC-A	★ 212	306	5-8
20PtRuNi/NTC-B	182	246	3-5



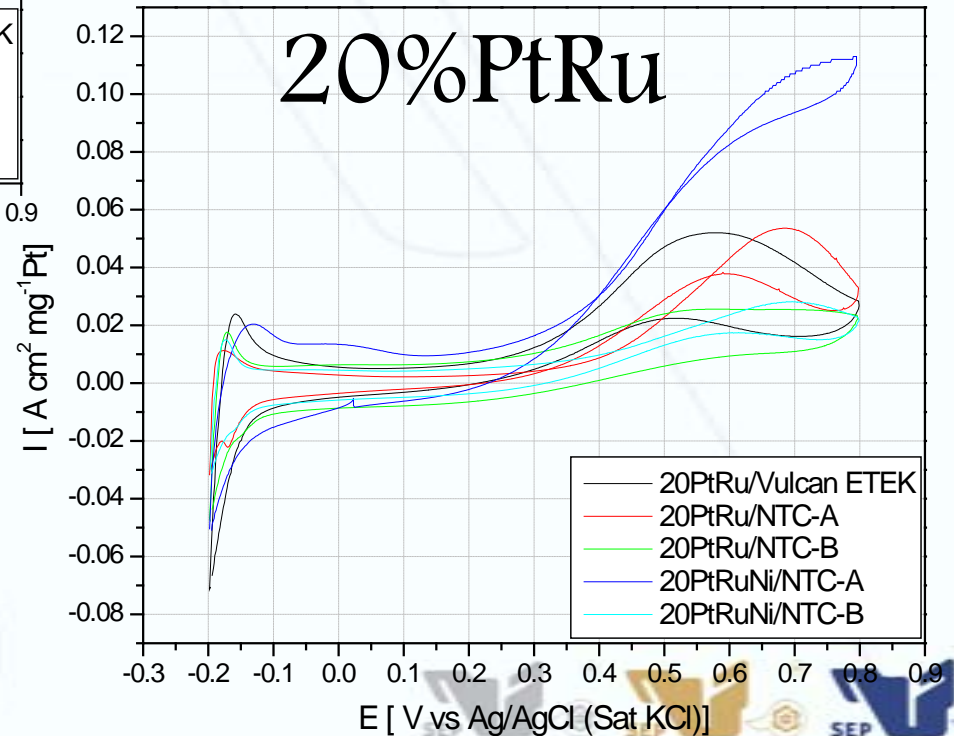
SEP

10%Pt



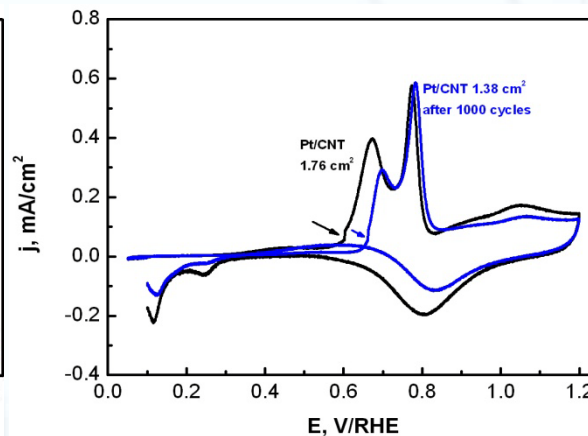
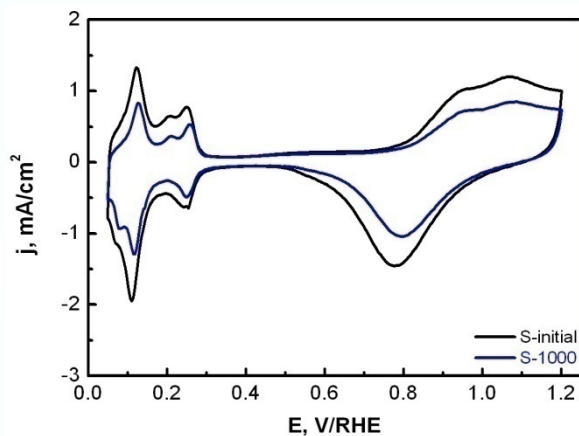
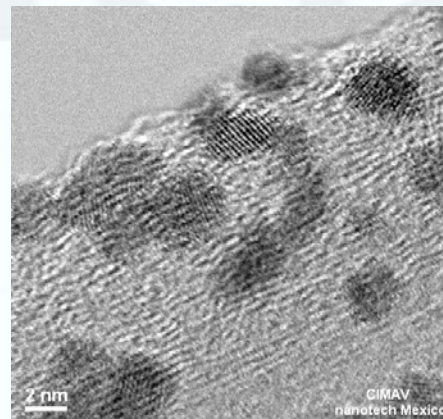
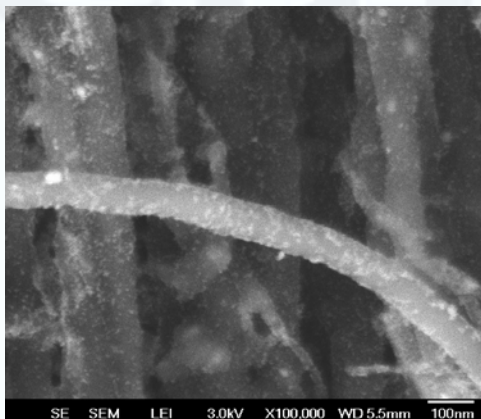
Electro-oxidación de metanol

20%PtRu





Stability and CO Oxidation on Pt Nanoparticles Deposited onto MWCNT





Celda de Alcohol Directo (ITC – CICY)

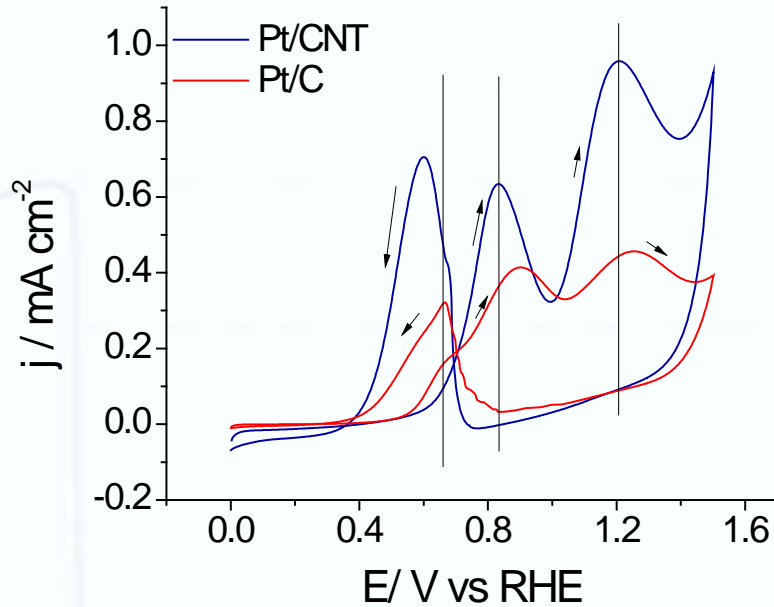


Figure E2. Cyclic voltammograms on Pt/C and Pt/MWCNT in 1.0 M $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ + 0.5 M H_2SO_4 at scan rate of 50mVs-

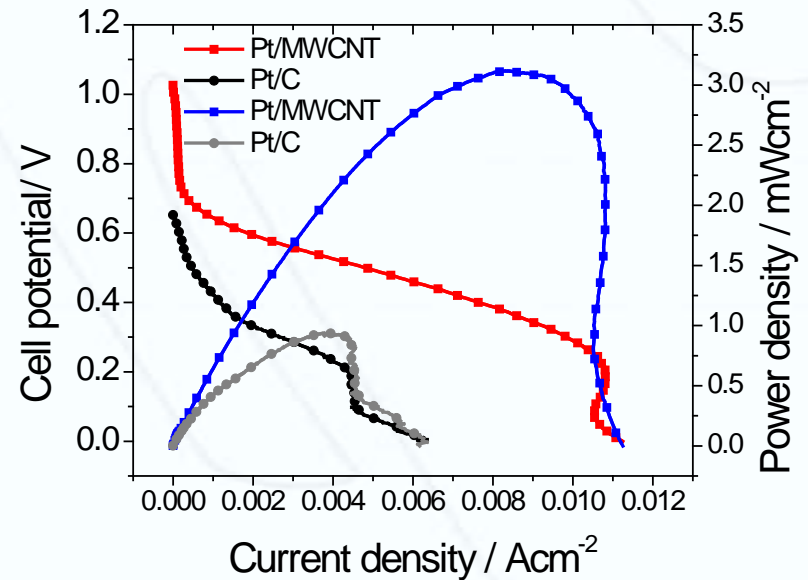


Figure E3. Performance comparison of DEFC





CONCLUSIONES

1. El desarrollo de nuevos a nanomateriales ha beneficiado en gran medida a diversos campos de la industria.
2. La morfología y estructura de los NTC, permite tener una buena dispersión de las nanopartículas de metal.
3. NTC pueden ser usados como catalizadores en Celdas de Combustible, incrementando su actividad electrocatalítica y su estabilidad en medios ácidos.
4. Metales / NTC pueden ser aplicados también en celdas de combustible de alcohol directo.





AGRADECIMIENTOS

- **FORDECYT - CONACYT**
- **CONACYT -GOBIERNO DEL ESTADO DE Q. ROO**
- **INTERNATIONAL CENTER FOR NANOTECHNOLOGY AND ADVANCED MATERIALS.**
- **LABORATORIO NACIONAL DE NANOTECNOLIGIA (CIMAV)**





Maestría en Ciencias Ambientales

"CONOCIMIENTO CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO PARA UN DESARROLLO SUSTENTABLE"

CALENDARIO

Recepción de requisitos de ingreso:

Del 08 de abril al 30 de mayo, 2013

Entrevista:
14 y 15 de agosto, 2013

Solicitud del EXANI III: 30 abril - 30 mayo, 2013

Publicación de resultados:
19 de agosto, 2013

Aplicación del examen de conocimientos (Exani III):
07 de junio de 2013 de 09:00 a 13:00 hrs.

Inscripción:
22 y 23 de agosto, 2013

INICIO DE CURSOS

26 de agosto, 2013

Costos:
Inscripción semestral: \$2,000.00
Costo por crédito: \$250.00

Requisitos de Ingreso:

- Ser egresado de una licenciatura en áreas afines con un promedio general mínimo de 80 puntos o equivalente.
- Aprobar el proceso de admisión.
- Presentar Curriculum Vitae con documentos probatorios.
- Entregar Carta Compromiso de dedicación de tiempo completo al programa.
- Entregar dos cartas de recomendación académica o profesional.
- Entregar una carta de exposición de motivos.
- Presentar un documento reciente expedido por una institución reconocida para demostrar habilidades de lectura y comprensión de documentos técnicos en el idioma inglés.

EL PROGRAMA CUENTA CON:

- *PROFESORES CON PERFIL DESEABLE PROMEP
- *MIEMBROS DEL SISTEMA NACIONAL DE INVESTIGADORES
- *PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN FINANCIADOS POR CONACYT, PROMEP Y DGEST
- *LABORATORIOS CON EQUIPOS DE ÚLTIMA GENERACIÓN

"Pregunta por el Programa de Becas"

www.itcancun.edu.mx

MAYORES INFORMES:

Instituto Tecnológico de Cancún
División de Estudios de Posgrado e Investigación
Av. Kabáh km. 3 s/n, Cancún, Q. Roo CP 77500
Tels. (998) 8807432 / 8480960 ext. 1012
mca@itcancun.edu.mx / mcaitcancun@yahoo.com

Doctorado en Ciencias en Materiales

El programa de Doctorado en Ciencias en Materiales nace como una colaboración entre el Instituto Tecnológico de Ciudad Madero y el Instituto Tecnológico de Cancún. El principal objetivo es la formación de recursos humanos con sólidos conocimientos y experiencia en investigación en el área de Ciencia de Materiales con un enfoque multidisciplinario y con habilidades en los campos de especialidad ofertados por el programa. Permitiendo la versatilidad y preparación suficiente para incorporarse a labores de investigación y desarrollo en los sectores productivos y de servicios a nivel regional, estatal, nacional e internacional. Este programa de posgrado con perfil hacia la investigación, tiene como soporte una planta académica de 11 doctores que conforman el Claustro Doctoral, de los cuales el 81% pertenece al Sistema Nacional de Investigadores.

Líneas de Investigación:

- * Nanomateriales
- * Síntesis y Procesamiento de Polímeros
- * Catálisis Ambiental

Recepción de requisitos de ingreso:
del 29 de abril al 05 de junio, 2013.

Publicación de lista de aspirantes aceptados para entrevista:
10 de junio, 2013.

Publicación de Resultados:
03 de julio, 2013.

Entrevistas:
26-28 de junio, 2013.

Inscripciones:
del 19-23 de agosto, 2013.

Inicio de cursos:
26 de agosto, 2013.

Duración:
Mínimo 3 años - Máximo 4 años

Programa
pertenciente
al PNPC
de CONACYT

BECAS
CONACYT



Mayores informes:

División de Estudios de Posgrado e Investigación
a los Tels. 01 (833) 357-4820 ext. 3111 (ITMadero)
y al 01 (998) 8807432 ext. 1002 (ITCancún)
dcm@itcm.edu.mx
dcm@itcancun.edu.mx
dcm@itcancun@yahoo.com

"Por mi Patria y por mi Bien"

www.itcm.edu.mx
www.itcancun.edu.mx



Gracias

José Ysmael Verde Gómez

yverde@itcancun.edu.mx

ysmaelverde@yahoo.com

Tel. (998) 8807432 ext. 1002

