

# Caracterización de Nanoreservorios de óxido de titanio dopados con iones platino (II) y bicarbonato de sodio

J. Albino. Moreno<sup>1</sup>, Genaro Carmona<sup>1</sup>, Rafael Muñoz<sup>1</sup>, Rutilio Marquéz<sup>1</sup>, Alfonso Díaz<sup>1</sup>, Samuel Treviño<sup>1</sup>, José Garate<sup>1</sup>, Lilián A. Moreno<sup>2</sup>, Eduardo Valdez<sup>2</sup> y Jazmin Andrade<sup>1</sup>

Facultad de Ciencias Químicas<sup>1</sup>, Instituto de Física<sup>2</sup>

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Puebla, Pue.; México

doc99albino@gmail.com, [carmona.genaro, rmbedolla]@yahoo.com.mx; [jose.garate, alfonso.diaz, jose.marquez]@correo.buap.mx, [lmoreno, evaldez]@ifuap.buap.mx; samuel\_treviño@hotmail.com

**Resumen**— El óxido de titanio como nanomaterial, es utilizado en procesos químicos, industriales, ambientales y del sector salud, por sus propiedades fisicoquímicas tan bondadosas que presenta cuando se encuentra en su fase cristalina anatasa; sin embargo, estas propiedades se optimizan de forma potencial cuando se dopa con iones metálicos o se encapsulan sustancias activas en su nanomatriz. Por lo tanto, en este proyecto de investigación, se pretende modificar las propiedades físicas, electrónicas, texturales, ópticas y químicas del nanomaterial de óxido de titanio al doparlo con el 15% en peso de bicarbonato de sodio y con el 0.1% en peso con iones de platino en “in situ”. Los resultados nos indican que el óxido de titanio puro y el dopado con iones platino (II) son amorfos, con bicarbonato de sodio y con ambas impurezas son cristalinos. Por tratamiento térmico a 550°C, el NaHCO<sub>3</sub> se transforma a trona.

Palabras clave— TiO<sub>2</sub>, NaHCO<sub>3</sub>, Pt<sup>2+</sup>, nanoreservorios, sol-gel.

## I. INTRODUCCIÓN

De los óxidos de los metales de transición, el óxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) ha sido uno de los más estudiados y reportados desde hace décadas como nanomaterial. Presenta propiedades fisicoquímicas, ópticas y estructurales (texturales) que pueden ser aplicables en varios procesos de tipo industrial, ambiental y del sector salud [1-4]. Se ha reportado como semiconductor con excelentes propiedades fotocatalíticas en la degradación de sustancias químicas altamente contaminantes de tipo orgánico en forma líquida [5-8] y de compuestos orgánicos volátiles (COVs) [9-14], como intermediarios nanocatalíticos en procesos de productos de gran valor comercial [15-17], como desinfectante [18, 16, 19, 20], en orientación de ciertos genes del ADN [10, 21, 22], en sondas biológicas [23], ensayos de diagnóstico [24] y recientemente en nanoreservorios en el control de células cancerígenas [25-27]. Por su tamaño nanométrico (menor a 100 nm), el TiO<sub>2</sub> presenta un efecto cuántico mayor respecto al bulto. La generación de huecos-vacancias por la excitación de los electrones desde la banda de valencia a la banda conducción en semiconductores nanomateriales es conocido confinamiento cuántico, por lo que el tamaño y la geometría de los materiales está en función de las propiedades de transporte en relación con los fonones y fotones [28]. Estos huecos-vacancias fotogeneradas en el nanomaterial de TiO<sub>2</sub> pueden reaccionar con moléculas de H<sub>2</sub>O y radicales hidroxilos (OH<sup>•</sup>) en medio acuoso para formar el radical libre hidroxilo altamente reactivo (OH<sup>•</sup>), mientras los electrones puede reaccionar con oxígeno para producir iones superóxido [9, 29, 14]. Por lo que, se estipula que estas reacciones pueden ser utilizada para tratar células tumorales debido a la celda peroxidación de membrana [17]. La incorporación de ciertos metales inertes de transición interna como el Pt sobre la matriz del TiO<sub>2</sub> puede mejorar significativamente la actividad fotocatalítica del semiconductor debido a la separación de las cargas más entre los electrones que se acumulan en el metal y los agujeros queda en la superficie fotocatalizador [20, 31]. Se proponen que los complejos de coordinación con platino pueden actuar como agentes

citotóxicos. El cis-diaminodiclorplatino (II) o mejor conocido como cisplatino fue la más activa de esas sustancias en sistemas tumorales experimentales y ha resultado tener gran utilidad clínica. El carboplatino recibió aprobación para el tratamiento de cáncer ovárico en 1989 en Estados Unidos. El cisplatino posee amplia actividad antineoplásica y es especialmente útil en el tratamiento de cánceres epiteliales. Se ha vuelto el fundamento de regímenes curativos de cáncer testicular avanzado y posee actividad notable contra cánceres de ovario, cabeza, cuello, vejiga, esófago y pulmón [18, 16, 21, 22]. Recientemente, un grupo de especialistas dirigido por el Dr. Simoncini, propone que la candida puede ser la causante del cáncer y establece atacar al hongo usando una solución alcalinizante como es el bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ). En el libro, “Winning the War on Cáncer” (Ganando la Guerra al Cáncer), el Dr. Mark Sircus aborda el tema del bicarbonato de sodio donde establece que el bicarbonato de sodio le da al cuerpo una forma natural de quimioterapia, sin los demoledores efectos secundarios y costos de los tratamientos de quimioterapia convencionales [24]. En este proyecto de investigación se reporta la síntesis y caracterización por espectroscopia Ultravioleta-Visible (UV-VIS), Infrarrojo (IR), Difracción de Rayos X (DRX), Microscopia Electrónica de Barrido (SEM) y Microscopia de Energía Dispersada (EDS) de tres nanomateriales a base de  $\text{TiO}_2$  dopados con iones de Pt (II) al 1% en peso, con solución de bicarbonato de sodio al 15% y con ambas impurezas (platino y bicarbonato de sodio).

## II. PARTE EXPERIMENTAL

Se prepararon tres nanomateriales por el método sol-gel a base de óxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) como nanosoporte. Uno dopado con 0.1% en peso de platino a partir de acetilacetonato de platino ( $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}_4\text{Pt}$  97%, Sigma-Aldrich), es etiquetado como  $\text{Pt}^{2+}/\text{TiO}_2$ -0.1-70; al segundo se le agregó 50 mL de una solución de bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ , 99.7% ACS reactivo Sigma-Aldrich) al 15%, etiquetado como  $\text{NaHCO}_3/\text{TiO}_2$ -15-70 y al último se adiciona “in situ” 0.1% en peso de acetilacetonato de platino y 50 mL de bicarbonato de sodio al 15%, (se etiqueta como  $\text{NaHCO}_3\text{-Pt}^{2+}/\text{TiO}_2$ -15-0.1-70. Todos los nanomateriales se prepararon bajo las mismas condiciones de reflujo a  $70^\circ\text{C}$  y agitación constante, de forma separada, a partir de una solución que contiene 150 mL de alcohol butílico ( $\text{C}_4\text{H}_9\text{OO}$ , 99.4% ACS reactivo Sigma-Aldrich), 10 mL de agua desionizada y 0.5 g de polivinilpirrolidona (25000, Sigma-Aldrich). La cantidad de dopaje de platino es 0.01 g y de bicarbonato de sodio de 50.0 mL.

## III. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

### A. Espectroscopia infrarroja (IR).

Los espectros de infrarrojo de los nanomateriales se realizaron con un espectrofotómetro FTIR modelo Scalibur Digilab de VARIAN, éstos se observan en la figura 1. El espectro de infrarrojo del nanocatalizador de óxido de titanio a  $70^\circ\text{C}$  ( $\text{TiO}_2$ -70), presenta una banda de absorción en  $3231.2\text{ cm}^{-1}$  del modo de vibración  $\nu_{\text{OH}}$  de alargamiento de los grupos oxhidrilo ( $\text{OH}^-$ ) correspondientes al solvente (agua y alcohol) y al nanomaterial hidroxilado ( $[\text{TiO}_2\text{-}70\text{-OH}]$ ). Las bandas de absorción ubicadas en  $2958.7\text{ cm}^{-1}$  y  $2872.0\text{ cm}^{-1}$  corresponden a los modos de vibración tipo alargamiento ( $\nu_{\text{C-H}}$ ) de los grupos metilos y etilos simétricos y asimétricos respectivamente. En  $1643.1\text{ cm}^{-1}$ , se presenta el modo de vibración de tipo flexión ( $\nu_{\text{OH}}$ ), de los grupos hidróxilos del solvente y el modo de deformación  $\delta_{\text{HOH}}$  del agua coordinada. El modo de vibración ubicado en  $1457.2\text{ cm}^{-1}$  y la banda de absorción en  $1289.0\text{ cm}^{-1}$ , corresponde a las vibraciones de tipo flexión: simétricas  $\nu_{\text{COO}^-}$ ,  $\nu_{\text{C-H}}$  y deformación tipo tijera  $\delta_{\text{CH}_3}$ . En la región de baja energía del espectro infrarrojo, la banda de absorción ubicada en  $529.4$  se presenta el modo vibración de tipo flexión ( $\nu_{\text{Ti-O}}$ ) de las especies titanio-oxígeno (Ti-O).

Al dopar el nanomaterial de óxido de titanio con ion platino (II), se presentan los modos de vibración de tipo alargamiento y flexión de los grupos orgánicos, presentes en el nanomaterial de óxido de titanio, así también se observan dos modos de vibración en  $1531.2\text{ cm}^{-1}$  ( $\nu_{\text{COO}^-}$  y  $\delta_{\text{CH}_3}$ ) simétricos y de deformación de la interacción carbono-carbono y deformación de los grupo metil y etil, en  $1090.4$  ( $\nu_{\text{C-C}}$

y  $\nu_{C-O}$ ) correspondientes a las especies metoxi puente, así como a solventes, productos y subproductos de la reacción de síntesis del material. En  $575.7\text{ cm}^{-1}$ , se identifica una banda de absorción pequeña que corresponde al modo de vibración  $\nu_{Pt-O}$  de tipo flexión de las interacciones metal-oxígeno asociadas al platino-oxígeno y en  $526.1\text{ cm}^{-1}$  se presenta el modo de vibración titanio-oxígeno ( $\nu_{Ti-O}$ ).

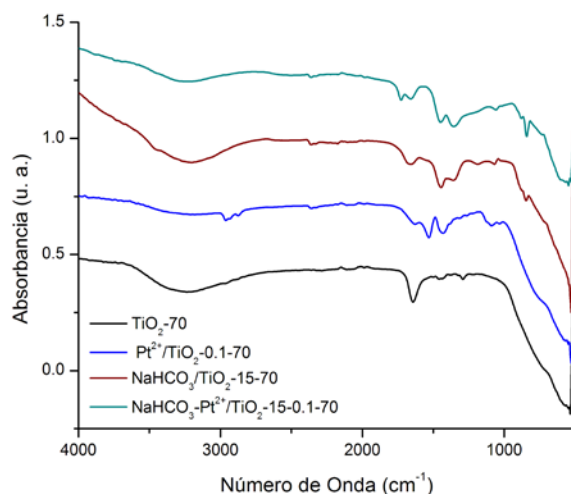


Fig. 1. Espectros de IR de nanomaterisles  $TiO_2-70$ ,  $Pt^{2+}/TiO_2-0.1-70$ ,  $NaHCO_3/TiO_2-15-70$  y  $NaHCO_3-Pt^{2+}/TiO_2-15-0.1-70$ .

La presencia de bicarbonato de sodio en forma de trona en la malla del óxido de titanio, se presentan un modos de vibración  $\nu_{OH}$  en  $3\ 250.6\text{ cm}^{-1}$  correspondientes al agua de cristalización, las bandas de absorción ubicadas en  $2\ 502.0\text{ cm}^{-1}$ ,  $2\ 367.9\text{ cm}^{-1}$  y  $2\ 170.6\text{ cm}^{-1}$ , corresponden a los modos de vibración  $\nu_{C-O}$  tipo alargamiento del dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Hacia  $1729.2\text{ cm}^{-1}$ , se ubica el modo de vibración  $\nu_{C-O}$  de alargamiento y el modo de deformación  $\delta_{OH}$  de los grupos oxhidrilo. En  $1\ 658.3\text{ cm}^{-1}$  se localiza el modo de vibración  $\nu_{O-C-O}^{as}$  asimétrico, correspondiente a la interacción O-C-O de la trona. Los modos de vibración en  $1\ 358.6\text{ cm}^{-1}$  y  $1\ 454.0\text{ cm}^{-1}$  se encuentra modo de vibración  $\nu_{O-C-O}^s$  simétrico y los modos  $\nu_{C-C}$ ,  $\nu_{C-H}$  de tipo flexión. En  $1051.6\text{ cm}^{-1}$  se localiza el modo de vibración asimétrico  $\nu_{O-C-C}$  y el modo de deformación  $\delta_{OH}$ . El modo de vibración  $\nu_{C-O-C}^{as}$  asimétricos correspondiente al éter se localiza en  $839.6\text{ cm}^{-1}$ . Las bandas de absorción localizadas en  $621.8\text{ cm}^{-1}$  y  $501.6\text{ cm}^{-1}$  corresponden a la interacción metal-oxígeno de los modos de vibración  $\nu_{Pt-O}$  y  $\nu_{Ti-O}$  respectivamente.

### B. Espectroscopia ultravioleta-visible (UV-VIS).

Los espectros de UV-VIS de los nanomateriales se realizaron en un equipo CARY 100 de VARIAN con esfera de integración acoplada de reflectancia difusa recubierta con MgO como estándar de reflectancia certificada marca Labsphere con una reflectividad del 100%, como se muestra en la figura 2.

Al dopar el nanomaterial de  $TiO_2-70$ , con iones platino (II) y con la solución de bicarbonato de sodio, las bandas de absorción de UV-VIS se desplazan a la región del espectro de menor energía; es decir hacia el espectro visible (VIS), presentando una mayor longitud de onda ( $\lambda$ ) el nanomaterial de  $NaHCO_3-Pt^{2+}-15-0.1-70$  de  $426.5\text{ nm}$ , que corresponde a un valor de energía de banda prohibida ( $E_g$ ) de  $2.9\text{ eV}$  respecto al nanomaterial de  $TiO_2-70$  de  $368.0\text{ nm}$  equivalente a  $3.4\text{ eV}$ , como se muestra en la tabla 1. Este comportamiento en las propiedades electrónicas y ópticas se debe a interacción de la impureza del ion platino (II) y la formación de trona a partir del bicarbonato de sodio en la malla del nanomaterial de óxido de titanio.

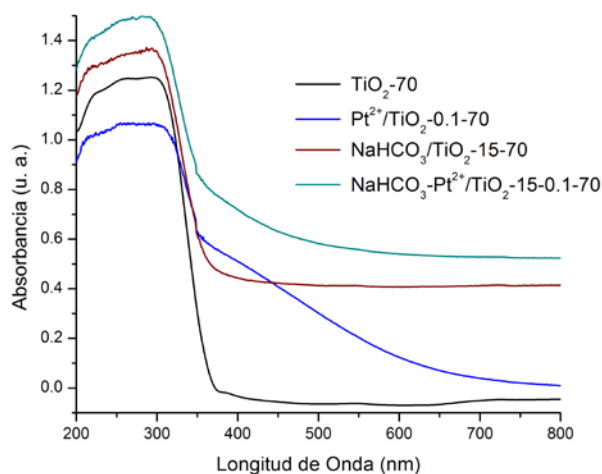


Fig. 2. Espectros de UV-VIS FTIR de nanomateriales  $\text{TiO}_2$ -70,  $\text{Pt}^{2+}/\text{TiO}_2$ -0.1-70,  $\text{NaHCO}_3/\text{TiO}_2$ -15-70 y  $\text{NaHCO}_3\text{-Pt}^{2+}/\text{TiO}_2$ -15-0.1-70.

**La**

La disminución del valor de la energía prohibida de los nanocatalizadores, como lo muestra la tabla 1, indica la formación de los niveles de fermi en la banda prohibida del semiconductor del óxido de titanio de tipo directo, en donde los electrones del nivel de valencia requieren de menor energía de excitación para migrar a la banda de conducción, originando más para activos: hueco-vacancia.

Tabla I. Espectros de UV-VIS de los nanomateriales  $\text{TiO}_2$ -70,  $\text{Pt}^{2+}/\text{TiO}_2$ -0.1-70,  $\text{NaHCO}_3/\text{TiO}_2$ -15-70 y  $\text{NaHCO}_3\text{-Pt}^{2+}/\text{TiO}_2$ -15-0.1-70.

Nanomaterial	$\lambda$ (nm)	$E_g$ (eV)	$\nu$ (Hz) (x1014)	Región espectral
$\text{TiO}_2$ -70	368.0	3.4	8.1	UV-cercano
$\text{Pt}^{2+}/\text{TiO}_2$ -0.1-70	403.0	3.1	7.4	UV-VIS (violeta)
$\text{NaHCO}_3/\text{TiO}_2$ -15-70	397.0	3.1	7.5	UV-VIS (violeta)
$\text{NaHCO}_3\text{-Pt}^{2+}/\text{TiO}_2$ -15-0.1-70	417.0	2.9	72.0	UV-VIS (violeta)

De acuerdo al valor de la energía prohibida, todos los nanomateriales que tiene óxido de titanio presentan la fase cristalina anatasa, de acuerdo a (Martínez, 2003). Los nanomateriales que presentan bicarbonato de sodio presentan la fase cristalina trona. Por lo tanto, la activación de los nanomateriales que tienen la impureza platino y trona se pueden activar con la radiación solar de color violeta, como lo muestran las propiedades ópticas del estudio ultravioleta-visible.

**C. Estudio de Difracción de rayos X (DRX).**

De acuerdo al estudio de difracción de rayos x, figura 3, solo los nanocatalizadores que presentan bicarbonato de sodio (la fase trona,  $\text{Na}_3(\text{CO}_3)(\text{HCO}_3)\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) en la malla del óxido de titanio son cristalinos, cuyas bandas de difracción se encuentran ubicadas a lo largo de  $2\theta$  igual a 9.3, 18.3, 28.3, 29.2, 33.9, 35.7 y 44.6, en forma monoclinica prismática 2/m. Los nanomateriales que solo presentan la impureza de platino (II) y el óxido de titanio (referencia), son amorfos.

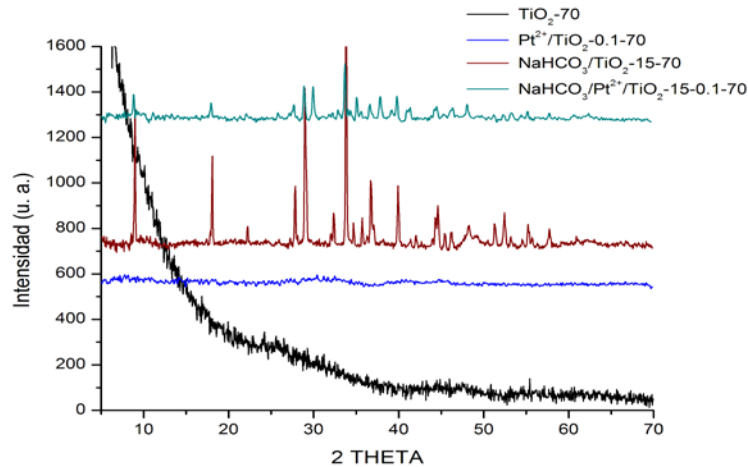
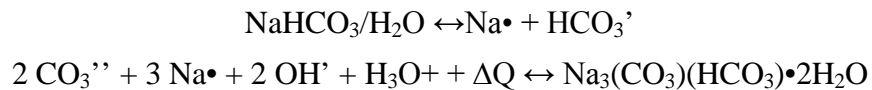


Fig. 3. Difractogramas de DRX de los nanomateriales TiO<sub>2</sub>-70, Pt<sup>2+</sup>/TiO<sub>2</sub>-0.1-70, NaHCO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub>-15-70 y NaHCO<sub>3</sub>-Pt<sup>2+</sup>/TiO<sub>2</sub>-15-0.1-70.

No se observa ninguna banda de difracción correspondiente al platino, lo que hace suponer que se encuentra disperso en la matriz del TiO<sub>2</sub> o por su concentración muy pobre (0.1%) no se puede observar. La formación de la fase trona a partir del NaHCO<sub>3</sub> lo presentamos a través de la siguiente ecuación:



*D. Microscopia Electrónica de Barrido (SEM).*

Las propiedades texturales y el tamaño promedio de la partícula del TiO<sub>2</sub> se realizó por microscopia electrónica de barrido (SEM), en un equipo modelo JSM-6610LV, JEOL. Todos los nanomateriales se recubrieron con Au para un mejor contraste y calidad de la imagen. La tensión aplicada para acelerar los electrones fue de 20 Kv. El equipo cuenta con una lámpara de Tungsteno que es la fuente emisora de electrones. Se utilizó la técnica de EDS (Energy Dispersive Spectrometer), para cuantificar de forma semicuantitativa los elementos presentes en la muestra de una forma semicuantitativa.

Las micrografías de los nanomateriales de TiO<sub>2</sub>-70 (figura 4) y Pt<sup>2+</sup>/TiO<sub>2</sub>-0.1-70 (figura 5), muestran aglomerados de partículas sin forma (amorfos) con un diámetro promedio de partícula de 70 nm (TiO<sub>2</sub>-70) y 50 nm (Pt<sup>2+</sup>/TiO<sub>2</sub>-0.1-70).



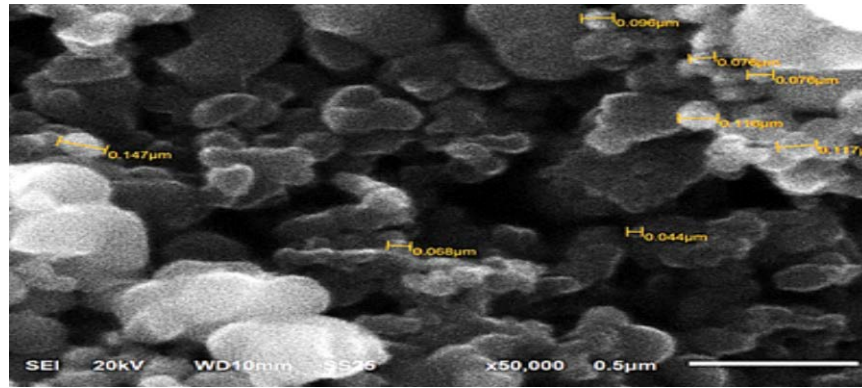


Fig. 4. Micrografía del nanomaterial  $\text{TiO}_2$ -70.

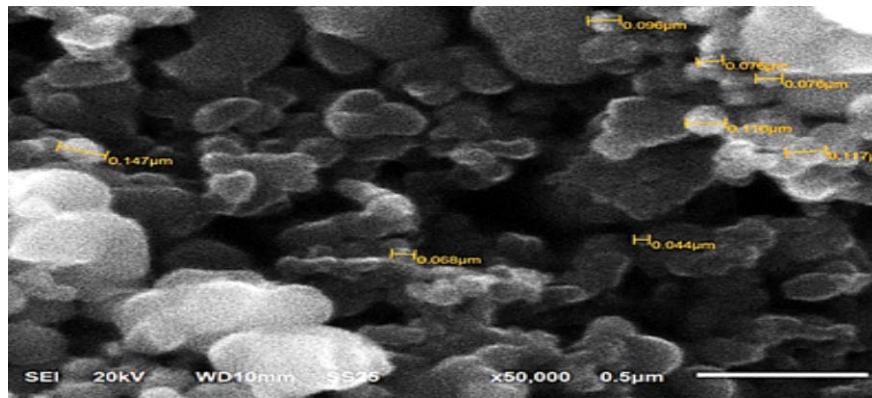


Fig. 5. Micrografía del nanomaterial  $\text{Pt}^{2+}/\text{TiO}_2$ -0.1-70.

Las micrografías de los nanomateriales de óxido de titanio con bicarbonato de sodio (trona), presentan una textura de partículas aglomeradas semiesféricas con un diámetro promedio de partícula de 130 nm para el nanomaterial de  $\text{NaHCO}_3/\text{TiO}_2$ -15-70. Se observa la tendencia de partículas de forma aglomerada semiesférica soportadas sobre placas amorfas, posiblemente las placas amorfas correspondan a la fase trona y las partículas semiesféricas al  $\text{TiO}_2$ , como lo muestra el estudio de DRX. Figura 6.

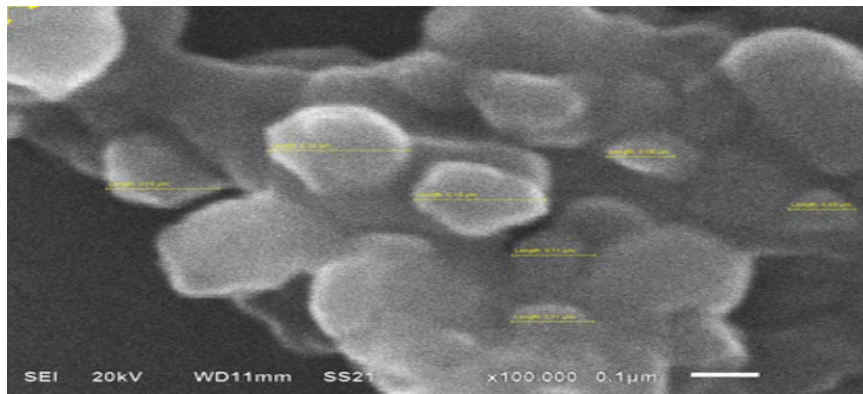


Fig. 6 Micrografías de los nanoreservorios  $\text{NaHCO}_3/\text{TiO}_2$ -15-70.

La micrografía correspondiente al nanomaterial de óxido de titanio dopado con iones platino (II) y bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3\text{-Pt}^{2+}/\text{TiO}_2\text{-15-0.1-70}$ ), presentan un tamaño promedio del diámetro de partícula de 180 nm, como se observa en la figura 7.

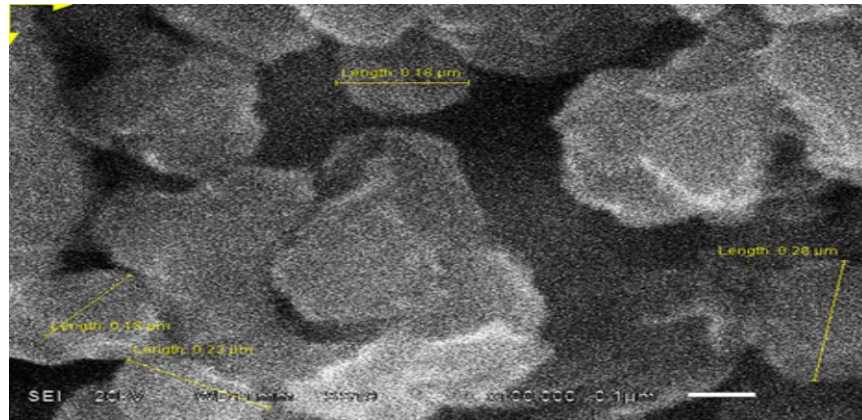


Fig. 7 Micrografías de los nanoreservorios  $\text{NaHCO}_3\text{-Pt}^{2+}/\text{TiO}_2\text{-15-0.1-70}$ .

La textura del nanomaterial de  $\text{NaHCO}_3\text{-Pt}^{2+}/\text{TiO}_2\text{-15-0.1-70}$  es amorfa, probablemente la presencia de partículas de platino II tenga cierta influencia en la morfología de dicho nanomaterial, porque no se presentan las placas amorfas como en el caso del nanomaterial  $\text{NaHCO}_3\text{-}/\text{TiO}_2\text{-15-70}$ . En este caso, posiblemente se forme un complejo de platino (carboplatino) con la sal ácida de bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ) y la solución salina acetilacetato de platino, la cual es eliminada en la etapa de la síntesis del nanomaterial. De esta forma solo se incrementa el tamaño de partícula.

Por lo que suponemos que los iones de platino II presentan mayor afinidad al  $\text{NaHCO}_3$  que al  $\text{TiO}_2$ . Ciertas moléculas del complejo de platino se ubican en la superficie del  $\text{TiO}_2$  interaccionando físicamente (fuerzas tipo Vander Valls), mientras que otras pudieran estar dispersas en la matriz del  $\text{TiO}_2$ , como lo muestra su respectivo difractogramas de Difracción de Rayos X.

Por lo tanto, proponemos la interacción de fase trona de la sal ácida sobre la superficie del nanomaterial  $\text{TiO}_2$  con forme el siguiente esquema de acuerdo al estudio de DRX. Esquema 1.

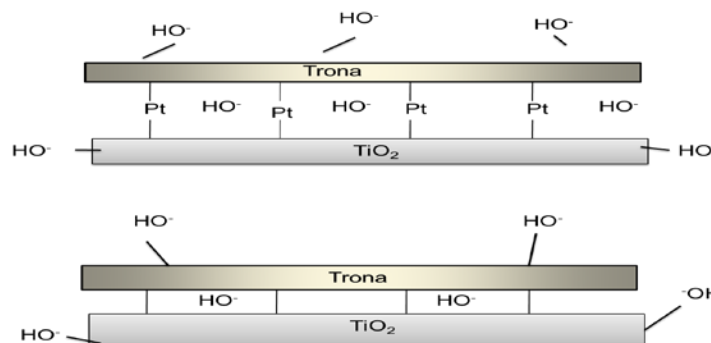


Fig. 8 Interacción de la fase trona en la superficie del  $\text{TiO}_2$ .

La interacción de la trona y del platino en la malla del TiO<sub>2</sub>-70 puede ser representada por el esquema 2.

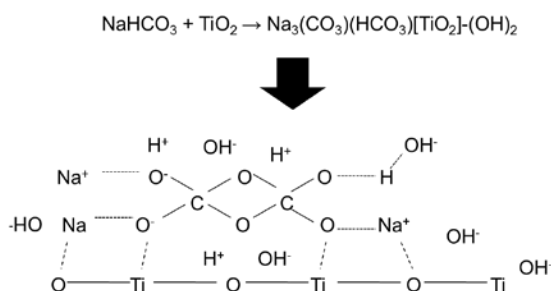


Fig. 9 Interacción de la fase trona y del platino en forma de complejo con la superficie del TiO<sub>2</sub>.

Los resultados por SEM-DES muestran de forma semicuantitativa el porcentaje de cada elemento (en masa y átomo) presente en los nanomateriales TiO<sub>2</sub>-70 (referencia), Pt/TiO<sub>2</sub>-0.1-70, NaHCO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub>-15-70 y NaHCO<sub>3</sub>-Pt/TiO<sub>2</sub>-15-0.1-70. La presencia de carbono en algunas de las muestras se debe a la preparación de las muestras para el estudio por SEM-DES, en donde se necesitó fijar cada muestra a una cinta de carbón. De acuerdo a la tabla número 2, el nanomaterial de TiO<sub>2</sub>-70, presenta las cantidades en masa de titanio y de oxígeno del 33.91% y 34.12% respectivamente, correspondiendo a la fórmula mínima TiO<sub>2,99</sub>; es decir, por cada átomo de titanio, se tiene 3 átomos de oxígeno aproximadamente. La fórmula molecular verdadera del TiO<sub>2</sub> es un átomo de titanio por dos de oxígeno. Este aumento en la cantidad de átomos de oxígeno en la fórmula mínima es porque el óxido de titanio se encuentra hidroxilado ([TiO<sub>2</sub>]-OH).

Tabla II. SEM-DES del nanomaterial TiO<sub>2</sub>-70

Elemento	Masa (%)	Átomos (%)
Carbón (C)	31.97	48.45
Titanio (Ti)	34.12	12.96
Oxígeno (O)	33.91	38.59
Total	100.00	

Para nanomaterial de NaHCO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub>-15-70 en forma de trona, se observa la presencia de átomos de sodio (9.18 % en masa) y átomos de carbono (28.83 % en masa), lo que nos induce la presencia de trona cuya fórmula es Na<sub>3</sub>(CO<sub>3</sub>)(HCO<sub>3</sub>)•2H<sub>2</sub>O, en la matriz del TiO<sub>2</sub>-70, como muestran los resultados de SEM-DES de la tabla número 3. Esto se respalda por los estudios de DRX y FTIR.

Tabla III. SEM-DES del nanomaterial NaHCO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub>-15-70

Elemento	Masa (%)	Átomos (%)
Titanio (Ti)	16.06	5.58
Oxígeno (O)	45.92	47.79
Sodio (Na)	9.18	6.65
Carbón (C)	28.83	39.97
Total	100.00	



En el nanomaterial de  $\text{NaHCO}_3\text{-Pt}^{2+}/\text{TiO}_2\text{-15-0.1-70}$  se observa la presencia en porcentaje de masa de platino (0.07), sodio (7.55) y de carbono (35.53). De nueva cuenta, se propone la interacción del platino con la solución de bicarbonato de sodio en forma de un ión complejo de platino, posiblemente similar al carboplatino ( $\text{C}_4\text{O}_4\text{H}_6\text{PtN}_2\text{H}_6$ ), interaccionando con los sitios activos de la superficie del  $\text{TiO}_2\text{-70}$ .

Tabla IV. SEM-DES del nanoreservorio Pt-0.1-NaHCO<sub>3</sub>-15/TiO<sub>2</sub>

Elemento	Masa (%)	Átomos (%)
Titanio (Ti)	19.21	11.03
Oxígeno (O)	37.63	34.79
Sodio (Na)	7.55	3.76
Carbón (C)	35.54	50.41
Platino (Pt)	0.07	0.01
Total	100.00	

Lo estudios de SEM-DES para nanomaterial de  $\text{Pt}^{2+}/\text{TiO}_2\text{-0.1-70}$ , muestran la presencia de platino en un porcentaje de masa de 0.24. Existe la interacción de los iones de platino (II) en la superficie del  $\text{TiO}_2\text{-70}$ . De acuerdo al porcentaje en peso de Ti, Pt y O, se puede proponer una fórmula mínima para el nanomaterial  $\text{Pt}^{2+}/\text{TiO}_2\text{-0.1-70}$ , la cual es  $\text{PtTi}_{585}\text{O}_{1561}$ .

Tabla V. SEM-DES del nanomaterial Pt-0.1/TiO<sub>2</sub>-0.1-70

Elemento	Masa (%)	Átomos (%)
Carbón (C)	34.59	52.17
Titanio (Ti)	34.44	13.03
Oxígeno (O)	30.73	34.79
Platino (Pt)	0.24	0.02
Total	100.00	

El estudio por Espectrofotometría de acoplamiento inducido por plasma (ICP) es una técnica que nos permite saber la concentración de metales (trazas) en los nanoreservorios obtenidos como el ion platino (II). El equipo utilizado es VARIAN 730-ES cuenta con policromador acoplado a un cilindro de gas argón (Ar) para generar el plasma. Las muestras fueron expuestas previamente a un proceso de digestión con  $\text{HNO}_3$  concentrado.

La concentración en peso de platino que se utilizó en los cálculos teóricos para la síntesis de los nanomateriales de  $\text{Pt}^{2+}/\text{TiO}_2\text{-0.1-70}$  y  $\text{NaHCO}_3\text{-Pt}^{2+}/\text{TiO}_2\text{-15-0.1-70}$  fue del 0.1% de platino en peso. Los resultados por ICP en el nanomaterial  $\text{Pt}^{2+}/\text{TiO}_2\text{-0.1-70}$  fue del 0.02% en peso de platino, y en el nanomaterial de  $\text{NaHCO}_3\text{-Pt}^{2+}/\text{TiO}_2\text{-15-0.1-70}$  del 0.03% en peso de platino. Estos resultados nos indican una disminución considerable de concentración de platino en los nanoreservorios obtenidos de acuerdo al valor teórico calculado para la síntesis. La aparente “perdida” de concentración de platino en los nanoreservorios se puede explicar por la dispersión de éste en la matriz del  $\text{TiO}_2$  de acuerdo a los estudios de DRX.

#### IV. CONCLUSIÓN

El estudio de DRX de los nanoreservorios de  $\text{NaHCO}_3/\text{TiO}_2\text{-15-70}$  y  $\text{NaHCO}_3\text{-Pt}^{2+}/\text{TiO}_2\text{-15-0.1-70}$ , muestra que el  $\text{NaHCO}_3$  en solución se transforma en trona. Esta fase cristalina se encuentra adsorbida en forma de capa en el  $\text{TiO}_2$  interaccionando con los centros activos  $\text{Ti}^{2+}$  y  $\text{O}^{2-}$  de la superficie del  $\text{TiO}_2$ ,

con los nanomateriales Pt-NaHCO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub>-15-0.1-70 probablemente, en la solución previa a la reacción con el n-butóxido de titanio, el platino interacciona con la solución de bicarbonato de sodio, formado cierto tipo de complejo (similar al complejo carboxiplatino) e interaccionan con los centros activos de la superficie del TiO<sub>2</sub>, cubriendo dicha superficie, en donde las partículas de platino se ubican entre la superficie del TiO<sub>2</sub> y la capa de la trona. La presencia de platino y bicarbonato de sodio en forma de complejo de platino, incrementa el tamaño promedio de las partículas de los nanomateriales NaHCO<sub>3</sub>-Pt<sup>2+</sup>/TiO<sub>2</sub>-15-0.1-70 (180 nm) respecto a los nanomateriales de NaHCO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub>-15-70 (130 nm) y del Pt<sup>2+</sup>/TiO<sub>2</sub>-0.1-70 (50 nm).

## V. REFERENCIAS.

- [1] Douglas W. J., Harris & Harris Group, Inc, (2006). “Device and Diagnostic Report”, Nanomedicine, 2.
- [2] Fox M. A., Whitesel J. K., (2000). “Química Orgánica”, 2a edición. Editorial Person Education. ISBN: 968-444-335-8, p. 191-217. México.
- [3] Valencia-Alvarado R., López-Callejas R., Barocio S. R., Mercado-Cabrera A., Peña-Eguiluz R., Muñoz-Castro A. E., (2010). “Titanium Oxidation by F Inductively Coupled Plasma”, Int. J. Nanomanufacturing, 5 (1, 2), 62-68
- [4] Valencia-Alvarado R., López-Callejas R., S. Barocio R., Mercado-Cabrera A., Peña-Eguiluz R., Muñoz-Castro A. E., De la Piedad-Beneitez A, De la Rosa-Vázquez J. M., (2010). “TiO<sub>2</sub> films in the rutile and anatase phase produced by inductively coupled if plasmas”, Surface and Coatings, 204, 3078-3081.
- [5] Arruebo M., Fernández-Pacheco R., Ibarra M. R., Santamaría J., (2007). Nanotoday, 2 (3), 22.
- [6] Felsner D. W., (2003). Nat. Rev. Cancer, 3 (5), 375-380.
- [7] Monreal H. A., Villafaña A. M., Chacón J. G., Glossman D., Martínez C. A. and Casillas P. G., (2005). “Obtención de (nanocilindros) de TiO<sub>2</sub> dirigido por ADN mediante sol-gel”, Rev. Del Centro de Inv. (Méx.), 6 (23), 20-26.
- [8] Wang Y. H., Liu S., Zhang G., Zhou C. Q., Zhu H. X., Zhou X. B., Quan L. P., Bai J. F., Xu N. Z., (2005). Breast Cancer Res. 7 (2), 220-228.
- [9] Chao L. H., Zhong Li X., Janusz N., (2010). Solid State Phenomena, 162, 295-328.
- [10] Chen X., Mao S. S., (2007). Titanium dioxide nanomaterials: synthesis, properties, modifications, and applications, Chem. Rev., 107, 2891–2959.
- [11] Chen G., Zhao J., Liu X., Gao G., Huang J., Li G., (2007). “Electrochemical sensing DNA damage with nano-titanium dioxide and repair with a medicinal herb species resveratrol”, J. Biotechnol. 127, 653–656.
- [12] Fu G. F., Vary P. S., Lin C. T., (2005). “Anatase TiO<sub>2</sub> nanocomposites for antimicrobial coatings”, J. Phys. Chem. B, 109, 8889–8898.
- [13] López T., Alvarez M., González R. D., Uddin M. J., Bustos J., Arroyo S., Sánchez A., (2011). “Synthesis, characterization and in vitro cytotoxicity of Pt-TiO<sub>2</sub> nanoparticles, Adsorption 17, 573–581.
- [14] Peng T.Y., Hasegawa A., Qiu J. R., Hirao K., (2003). Chem. Mater., 15, 2011-2016.
- [15] Galanski M., Baumgartner C., Meelich K., Arion V. B., Fremuth M., Jakupec M. A., Schluga P., Hartinger C. G., Keyserlingk N. G., Keppler V. K., (2004). “Synthesis, crystal structure and pH dependent cytotoxicity of (SP-4-2)-bis(2-aminoethanolato-κ2N,O)platinum(II) a representative of novel pH sensitive anticancer platinum complexes. Inorg. Chim. Acta 357, 3237–3244.
- [16] Liu L., Miao P., Xu Y., Tian Z., Zou Z., Li G., (2010). “Study of Pt/TiO<sub>2</sub> nanocomposite for cancer-cell treatment”, J. Photochem. Photobiol., B Biol. 98, 207–210.

- [17] Seo J.W., Chung H., Kim M. Y., Lee J., Choi I. H., Cheon J., (2007). "Development of water soluble single-crystalline TiO<sub>2</sub> nanoparticles for photocatalytic cancer-cell treatment", *Small*, 3, 850–853.
- [18] Jadhav V. B., Jun Y. J., Song J. H., Park M.-K., Oh J. H., Chae S. W., Kim I.-S., Choi S. J., Lee H. J., Sohn Y. S., (2010). "A novel micelleencapsulated platinum (II) anticancer agent", *J. Control. Release* 147, 144–150.
- [19] López T., Recillas S., Guevara P., Sotelo J., Alvarez M., Odriozola J. A., (2008). "Pt/TiO<sub>2</sub> brain biocompatible nanoparticles: GBM treatment using the C6 model in Wistar rats", *Acta Biomater.* 4, 2037–2044.
- [20] Pang S.-K., Yu C.-W., Au-Yeung S., Ho Y.-P., (2007). "DNA damage induced by novel demethylcantharidin-integrated platinum anticancer complexes", *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 363, 235–240.
- [21] López T., Figueras F., Manjarrez J., Bustos J., Alvarez M., Silvestre-Albero J., Rodríguez-Reinoso F., Martínez-Ferre A., Martínez E., (2010). "Catalytic nanomedicine: a new field in antitumor treatment using supported platinum nanoparticles. In vitro DNA degradation and in vivo tests with C6 animal model on Wistar rats", *Eur. J. Med. Chem.* 45, 1982–1990.
- [22] Zhu X., Chen Z., Zhang X., Zhu Z., Li G., (2010). "Biomolecule-directed assembly of binary gold and titanium dioxide nanoparticles", *J. Nanosci. Nanotechnol.* 10, 1021–1024.
- [23] Archivado en Hogar y salud, Internacional, Regional, salud and etiquetado: cáncer, medicina, salud. Bicarbonato de sodio la Kriptonita del Cancer, 2009.
- [24] Ouyang F., Nakayama A., Tabada K. and Suzuki E., (2010). *J. Phys., Chem., B.*, 104, 2012.
- [25] Hadjiivanov K., Avreyska V., Klissurski D. and Marinova T., (2002). *Langmuir* 18, 1619.
- [26] Indovina V., Occhiuzzi M., Pietrogiacomi D. and Tuti S., (1999). *J. Phys. Chem. B*, 103, 9967.
- [27] Jacob K., Knözinger E., Benies S., (1993). *J. Mater. Chem.*, 3, 65.
- [28] Ouyang F., Kondo J. N., Maruya K. and Domen K., (1997). *J. of Phys. Chem. B* 101, 4867.
- [29] Zaki M. I., Hasan M. A. and Pasupulety L., (2001). *Langmuir*, 17, 768.
- [30] Konstantinou I. K., Sakkas V. A., Albanis T. A., (2001). *Appl. Catal. B-Environ.*, 34, 227-239.
- [31] Konstantinou T. Y., Hasegawa A., Qiu J. R., Hirao K., (2003). *Chem. Mater.*, 15, 2011-2016.
- [32] Bensitel M., Lamotte V., Saur O., Lavalley J. C., (1987). *Spectrochim. Acta*, 43A, 1487.
- [33] Vianey Ramos Varragan. "Fotodegradación de Fenol con Nanocatalizadores de WO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub>", Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Químicas, BUAP, 2013.
- [34] Icela Méndez Rojas, "Síntesis y Caracterización de Nanoreservorios de Stevia/SiO<sub>2</sub> Obtenidos por el Método Sol-gel", Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Químicas, BUAP, 2009.
- [35] Jazmín Andrade Hernández, "Nanoreservorios de TiO<sub>2</sub> Soportado con Platino 2+ y Bicarbonato de Sodio en el Tratamiento de Cáncer Cervicouterino", Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Químicas, BUAP, 2010.
- [36] Violeta Alvarez Quiroz, "Síntesis y Caracterización de Nanoreservorios de TiO<sub>2</sub>, VA/TiO<sub>2</sub>" Probable Aplicación contra Cáncer y Artritis Reumatoide", Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Químicas, BUAP, 2012.
- [37] Reyes Bravo Ramón Enrique, "Evaluación de la Actividad Hipoglucemica de Nanomatrices TiO<sub>2</sub> con Extracto de C. Obsticifolia en Ratas Diabéticas", Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Químicas, BUAP, 2014.

- [38] Beatriz Muñoz Gonzalez. “Determinación de la Constante de Velocidad en la Fotodegradación de Fenol con Nanomateriales de TiO<sub>2</sub> y W<sup>6+</sup>/TiO<sub>2</sub>”, Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Químicas, BUAP, 2012.