



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO**

---

**INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA  
ÁREA ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y MATERIALES**

**SÍNTESIS DE PUNTOS CUÁNTICOS DE CARBONO POR EL  
MÉTODO HIDROTHERMAL Y EVALUACIÓN DE SUS PROPIEDADES  
ÓPTICAS**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO  
EN CIENCIA DE LOS MATERIALES**

**PRESENTA:**

**Ing. Carlos Alfredo Zamora Valencia**

**DIRECTORES:**

**Dra. María Isabel Reyes Valderrama**

**Dr. Ventura Rodríguez Lugo**

**MINERAL DE LA REFORMA, HGO., MÉXICO A DICIEMBRE DEL 2020**



Mineral de la Reforma, Hgo., a 2 de diciembre de 2020

**Número de control:** ICBI-D/2468/2020  
**Asunto:** Autorización de impresión de tesis.

**M. EN C. JULIO CÉSAR LEINES MEDÉCIGO**  
**DIRECTOR DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR DE LA UAEH**

Por este conducto le comunico que el comité revisor asignado al C. Carlos Alfredo Zamora Valencia, alumno de la Maestría en Ciencias de los Materiales con número de cuenta 415854, se le autoriza la impresión del proyecto de tesis titulado "SÍNTESIS DE PUNTOS CUÁNTICOS DE CARBONO POR EL MÉTODO HIDROTHERMAL Y EVALUACIÓN DE SUS PROPIEDADES ÓPTICAS." en virtud de que se han efectuado las revisiones y correcciones pertinentes.

A continuación, se registran las firmas de conformidad de los integrantes del comité revisor.

PRESIDENTE	Dr. Ventura Rodríguez Lugo
SECRETARIO	M en C. Alejandro de Jesús Herrera Carbajal
VOCAL	Dra. María Isabel Reyes Valderrama
SUPLENTE	Dr. Eduardo Cerecedo Saéñz

Sin otro particular reitero a Usted la seguridad de mi atenta consideración.

Atentamente  
"Amor, Orden y Progreso"

Dr. Otilio Arturo Acevedo Sandoval  
Director del ICBI



OAAS/IBO



Ciudad del Conocimiento  
Carretera Pachuca-Tulancingo km 4.5 Colonia Carboneras,  
Mineral de la Reforma, Hidalgo, México. C.P. 42184  
Teléfono: +52 (771) 71 720 00 ext. 2231 Fax 2109  
direccion\_icbi@uaeh.edu.mx

[www.uaeh.edu.mx](http://www.uaeh.edu.mx)

El presente trabajo se llevó a cabo en el laboratorio de materiales avanzados del Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales (AACTyM), perteneciente a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), bajo la dirección de la Dra. María Isabel Reyes Valderrama y el Dr. Ventura Rodríguez Lugo. De igual forma se realizó con el apoyo del Dr. Luis Escobar Alarcón del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) y del Dr. Vicente Garibay del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), así mismo con el apoyo económico del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) con el número de beca 2019-000002-01NACF-09398 dentro del programa 002622- Maestría en Ciencia de los Materiales.

“En la vida no existe nada que temer,  
solo cosas que comprender”

**Marie Curie**

## Agradecimientos y dedicatorias

- A mi padre eterno: **Por todas las bendiciones y todo el amor que albas tras alba me regala, por el pequeño don de la sabiduría y abrimme las puertas a su biblioteca. En gran parte por la vida y carne que me presto para correr en su valle terrenal.**
- A la madre naturaleza: Por aquellos frutos que tome sin consentimiento, por los cuatro bendito elementos que estuvieron presentes en la realización del proyecto.
- A mis padres y hermanos: Por la atención brindada día a día, por su apoyo, amor y demás a lo largo de mi vida. Por los consejos y regaños que me han ayudado a forjarme como soy.
- A mi pareja: Por todo el apoyo emocional, moral, económico y demás. Por todo su tiempo invertido en mí, por cada una de las pláticas aburridas de ciencia que no me entendía pero que aun así me veía y escuchaba con interés.
- A mi familia: Por todo el apoyo, consejo, amor y demás cosas que hicieron por mí a lo largo de mi vida. Por alimentarme, vestirme y darme cobijo en todo momento.
- A mis amigos y compañeros: Por aquellas charlas, convivencias en las que aprendía cosas que en la escuela no enseñan. Por permitirme ser su amigo a lo largo de mi vida y este escalón en mi vida.
- A mis catedráticos: Por todas las enseñanzas y correcciones que me han dado ya que estas me ayudan a seguir y aprender cada día más sobre lo lindo que es la ciencia.
- A mis estudiantes: Por todo el apoyo y paciencia en el transcurso de sus estancias dentro de este proyecto. Por su enorme colaboración.

## Resumen

En la presente investigación se obtuvieron puntos cuánticos de carbono (PCC) fluorescentes, los cuales fueron sintetizados por el método hidrotermal variando la concentración y pH después del tratamiento hidrotermal, para la evaluación del rendimiento cuántico e intensidad de luminiscencia, así como las diferencias en el tamaño y morfología, buscando así una estructura estable con las condiciones ideales de los PCC. Se obtuvieron PCC en solución acuosa con tonalidades que van del marrón a amarillo, bajo una luz ultravioleta de 365 nm presentando emisiones azul y verde. Para la determinación de sus propiedades ópticas de absorción y luminiscencia se caracterizaron mediante espectroscopia de absorción UV-Vis y fotoluminiscencia, obteniendo transacciones electrónicas a los 250 y 280 nm correspondientes a transiciones  $n - \pi^*$ ,  $\pi - \pi^*$  características de los PCC, también se observaron un máximo de excitación a los 390 nm y un máximo de emisión entre 482 y 510 nm correspondientes a una emisión azul-cian y verde respectivamente, los PCC presentan una energía de banda prohibida de 1.11 a 1.71 eV. La composición química fue determinada por espectroscopia fotoelectrónica de rayos X, observando la presencia de C y O como elementos principales; por espectroscopia infrarroja por la transformada de Fourier (FT-IR) y Raman se observaron modos vibracionales, rotatorios de grupos funcionales como:  $OH^-$ ,  $C - N$ ,  $C = C$ ,  $C - O$ , dando una perspectiva de la composición en la superficie. Se obtuvieron nanopartículas esféricas y cuasiesféricas de tamaños promedio de 3 nm mediante microscopía electrónica de transmisión de alta resolución (HDTEM).

# Índice

Introducción.....	1
Objetivos .....	4
General.....	4
Específicos .....	4
1. Fundamentos Teóricos .....	5
1.1 Antecedentes .....	6
1.2 Marco teórico .....	13
1.2.1 La nanotecnología .....	13
1.2.1.1 Clasificación de las nanopartículas según su forma y dimensiones .....	14
1.2.1.2 Clasificación de las nanopartículas según la síntesis.....	15
1.2.2 Partículas a base de carbono.....	18
1.2.2.1 Fullerenos.....	18
1.2.2.2 Nanotubos de carbono.....	19
1.2.2.3 Grafeno.....	21
1.2.3 Puntos cuánticos.....	22
1.2.3.1 Puntos cuánticos de carbono.....	23
1.2.3.2 Confinamiento cuántico y proceso de emisión .....	23
1.2.3.3 Estructura de los puntos cuánticos.....	25
1.2.3.4 Métodos de síntesis de los puntos cuánticos de carbono.....	26
1.2.3.5 Aplicaciones de los puntos cuánticos de carbono. ....	28
2. Desarrollo experimental.....	31
2.1 Lista de equipos y reactivos .....	32
2.1.1 Reactivos.....	32
2.1.2 Equipos.....	32
2.2 Metodología experimental .....	33
2.2.1. Descripción de la síntesis .....	33
2.3 Caracterización de los PCC.....	34
2.3.1 Espectroscopía de absorción UV-Vis .....	35
2.3.2 Espectroscopía de fotoluminiscencia .....	35
2.3.3 Espectroscopía infrarroja por la transformada de Fourier (FT-IR) .....	35
2.3.4 Espectroscopía fotoelectrónica de rayos X (XPS) .....	35
2.3.5 Microscopía electrónica de transmisión de alta resolución (HRTEM) .....	36

2.4 Cálculo del rendimiento cuántico .....	36
3. Resultados y discusión .....	37
3.1. Síntesis .....	38
3.2 Propiedades de absorbanza y luminiscencia.....	39
3.2.1. Cambio de concentración .....	41
3.2.2 Variación de pH .....	44
3.3 Composición y estructura .....	48
Conclusiones.....	54
Referencias.....	55
Productos.....	61

## Índice de figuras

<b>Figura 1. 1.</b> Nanopartículas de carbono emitiendo diferentes colores bajo la luz UV.....	7
<b>Figura 1. 2.</b> Pasivación de superficie de los puntos cuánticos de carbono. ....	7
<b>Figura 1. 3.</b> Variación del tamaño de partícula en relación con la velocidad de centrifugación. ....	9
<b>Figura 1. 4.</b> Metodología de síntesis por extracto del precursor. ....	10
<b>Figura 1. 5.</b> Metodología de síntesis sin preparación del precursor.....	11
<b>Figura 1. 6.</b> Representación gráfica de la escala nanométrica. ....	14
<b>Figura 1. 7.</b> a) Diferentes morfologías presentes en las nanopartículas; b) Clasificación de las nanopartículas por sus dimensiones. ....	15
<b>Figura 1. 8.</b> Clasificación de las técnicas de síntesis de nanopartículas.....	16
<b>Figura 1. 9.</b> Ejemplos de síntesis descendentes, a) Síntesis por molienda de granos (método físico); b) Síntesis por evaporación (método químico).....	17
<b>Figura 1. 10.</b> Ejemplo de síntesis ascendentes. ....	17
<b>Figura 1. 11.</b> Enlaces e hibridaciones entre átomos de carbono. ....	18
<b>Figura 1. 12.</b> Estructura de los fullerenos o Bucky-ball.....	19
<b>Figura 1. 13.</b> Estructura de los nanotubos de carbono de pared simple y multicapas.....	20
<b>Figura 1. 14.</b> Clasificación de los nanotubos de carbono en relación con su forma de enrollarse.....	21
<b>Figura 1. 15.</b> Estructura laminar del grafeno. ....	22
<b>Figura 1. 16.</b> Estructura core-shell de los puntos cuánticos.....	23
<b>Figura 1. 17.</b> Formación de excitones por recombinación: a) Radiativa; b) Por trampas; c) Auger.....	25
<b>Figura 1. 18.</b> Estructura de puntos cuánticos de carbono en forma de laminados de grafeno. ....	26
<b>Figura 1. 19.</b> Composición de la superficie, así como el proceso de funcionalización de puntos cuánticos de carbono. ....	26
<b>Figura 1. 20.</b> Métodos de síntesis de puntos cuánticos de carbono a) CVD y b) ablación láser.....	27
<b>Figura 1. 21.</b> Acoplamiento de puntos cuánticos con otros compuestos para a) LED y b) Paneles solares. ....	28
<b>Figura 1. 22.</b> Puntos cuánticos de carbono con aplicación de bioetiquetas a) Células cancerígenas y b) E. Coli. [10].....	29
<b>Figura 2. 1.</b> Modelo de síntesis de PCC variando la concentración y pH después del tratamiento hidrotermal. ....	34
<b>Figura 3. 1.</b> a) Posible formación de los PCC. b) Cambio de tamaño en la síntesis de puntos cuánticos.....	38
<b>Figura 3. 2.</b> Espectro de emisión de los PCC y de las NpC.....	39
<b>Figura 3. 3.</b> Espectros de absorción UV-Vis a) PCC variando la concentración b) Variando el pH. ....	40
<b>Figura 3. 4.</b> Diagrama de Tauc para el cálculo de la Egap. a) PCC variando la concentración b) Variando el pH.....	40
<b>Figura 3. 5.</b> Espectro de emisión a diferentes longitudes de excitación.....	41
<b>Figura 3. 6.</b> a) PCC en solución acuosa bajo luz visible y luz UV.....	42

<b>Figura 3. 7.</b> Espectros de emisión de los PCC a diferentes concentraciones, a) 0 días, b) 30 días.....	43
<b>Figura 3. 8.</b> A) Pérdida de luminiscencia en tiempo 0 y 30 días. B) Esquema de aumento de tamaño de los PCC con respecto al tiempo. C) Esquema del efecto de absorción y emisión al variar la concentración. ....	44
<b>Figura 3. 9.</b> PCC en solución acuosa bajo luz visible y luz UV. ....	45
<b>Figura 3. 10.</b> Espectros de emisión de los PCC a diferente pH, a) 0 días, b) 30 días.....	45
<b>Figura 3. 11.</b> A) Pérdida de luminiscencia en tiempo 0 y 30 días. B) Esquema del efecto del pH en la intensidad de luminiscencia. ....	47
<b>Figura 3. 12.</b> a) Micrografía de TEM de los PCC, b) distribución de tamaño de los PCC.	48
<b>Figura 3. 13.</b> Espectro de dispersión fotoelectrónica de rayos X. ....	49
<b>Figura 3. 14.</b> Espectro infrarrojo de los PCC A) Cambio de concentración B) Cambio de pH.....	50
<b>Figura 3. 15.</b> Modelo de emisión de los PCC a) Efecto de transiciones de bandas, b) Efecto de la superficie.....	52
<b>Figura 3. 16.</b> Efecto del confinamiento cuántico relacionado a la estructura de bandas. .	53

## Índice de tablas

<b>Tabla 1. 1.</b> Estado del arte de la síntesis de puntos cuánticos de carbono mediante el método hidrotermal a partir de diferentes fuentes vegetales. ....	12
<b>Tabla 2. 1.</b> Variación de la concentración en los PCC y de pH. ....	33
<b>Tabla 3. 1.</b> Máximos de intensidad de luminiscencia (I) y rendimientos cuánticos (QY) de los PCC obtenidos. ....	48
<b>Tabla 3. 2.</b> Reportes sobre la variación de la concentración en los PCC. ....	50
<b>Tabla 3. 3.</b> Reportes en la variación del pH en la síntesis de PCC. ....	51

## Índice de ecuaciones

<b>Ecuación 1. 1.</b> Modelo de Brus .....	6
<b>Ecuación 2. 1.</b> Cálculo del rendimiento cuántico.....	36

## Introducción

A lo largo de la historia el desarrollo y la evolución de las sociedades se han enfrentado con la producción e innovación de materiales para satisfacer sus necesidades de transporte, salud, comunicación y alimentación. [1] La innovación en los materiales es resultado del avance científico y tecnológico de diversas ramas de investigación en donde algunas de ellas parecen obtenidas de historias de ciencia ficción. Hace más de cinco décadas con las investigaciones referentes al físico Richard Feynman se abrió camino a una nueva disciplina de innovación en materiales, la nanotecnología. [2]

La nanotecnología, se dedica al control y manipulación de la materia a escala menor a 100 nm ( $1 \times 10^{-6}$  m), es decir, a nivel molecular o atómico, ya que la materia presenta una mejora en sus propiedades a estas escalas, [3] por lo cual esta se perfila como un conjunto de ciencias y/o tecnologías que permiten a la sociedad extender la eficiencia en los procesos productivos y sociales, en diversos campos de aplicación ya que es una ciencia multidisciplinaria. [2, 4]

La nanotecnología, fabrica nuevas estructuras artificiales en las que los átomos son depositados capa por capa, para una estructuración previamente prediseñada dando lugar así a los materiales o partículas nanoestructuradas (nanopartículas o nanomateriales). [5] Los nanomateriales son una nueva clase de materiales (cerámicos, metales, polímeros, semiconductores o compuestos) que presentan dimensiones dentro del rango nanométrico, los cuales se pueden clasificar en 0D, 1D, 2D o 3D y se pueden presentar en una gran variedad de formas como esferas, tubos, cilindros, rosetas de maíz, entre otras más. [3, 6]

Dicha estructuración es obtenida de forma experimental mediante el control de variables en la síntesis (pH, temperaturas, concentraciones etc.) o implementando elementos ajenos al producto (surfactantes) para así buscar un cambio de forma, tamaño o pasivación de superficie; [7] otra forma de prediseñar estas estructuras es

de forma teórica por medio de simulaciones moleculares analizando las propiedades y así poder predecir la eficiencia del material por el tamaño o forma. [8]

En los últimos años, se han sintetizado nanopartículas de dimensión cero llamadas puntos cuánticos, los cuales han atraído la atención de muchos grupos de investigación debido a sus propiedades microelectrónicas y ópticas que los hacen buenos candidatos para cubrir diferentes áreas de oportunidades. [9] Los puntos cuánticos son cristales semiconductores tridimensionales en escalas de 1-10nm, que producen emisiones luminiscentes dependiendo de su tamaño debido a la longitud de onda que estos emiten por los efectos de confinamiento cuántico. Los puntos cuánticos son altamente fluorescentes al ser excitados con una fuente de luz ultravioleta, además de que está comprobado que poseen la capacidad de anclarse a biomoléculas, mediante un proceso de funcionalización para que puedan ser empleados como una alternativa de biomarcadores. [10] Actualmente los más utilizados son los puntos cuánticos de CdSe, sin embargo, en años recientes también se han logrado sintetizar puntos cuánticos a base de carbono, los cuales, en comparación con los primeros, emiten mayor luminiscencia, poseen una mayor capacidad de anclaje a biomoléculas y su costo de obtención es considerablemente menor.

Los PPC pueden ser sintetizados de arriba hacia abajo (Top-down) o de abajo hacia arriba (Bottom-up) por diferentes rutas, las cuales pueden ser por vías químicas como por ejemplo la oxidación química o deposición química de vapor (CVD) y electroquímica, también por vías físicas como la ablación láser, microondas, tratamiento ultrasónico o descarga de arco; [11] brindando ventajas y desventajas dependiendo el método de síntesis. [12]

El método más práctico para la síntesis de los PCC es el método hidrotermal por su rentabilidad con respecto a los precursores, ya que se pueden usar diferentes fuentes vegetales como el plátano, [13] guayaba, guisantes, [14] limón, [15] cacahuate [16] o algo que contenga carbón. [10, 12] Dichas variedades de fuentes vegetales tienen diferentes composiciones bromatológicas lo que conlleva a una diversidad en la estructura de los PPC, variando así sus tamaños de 0.2 nm, [18]

hasta los 11 nm; [19] sus propiedades ópticas como la intensidad de luminiscencia, la fotoestabilidad y el rendimiento cuántico desde el 4% [20] hasta un 38% cuando es dopado con nitrógeno, [17] además de su composición y estructura por celda unitaria.

El presente trabajo se enfoca en la síntesis de PPC para la evaluación de sus propiedades ópticas de fotoluminiscencia y su estabilidad a partir de la variación de concentración y pH, para analizar y optimizar las propiedades de luminiscencia para aplicaciones en el campo de la bionanotecnología.

En el capítulo I, se establecerá el estado del arte relativo al pasado, presente y futuro de los puntos cuánticos de carbono, así mismo se incluyen los conceptos claves como las características microestructurales y morfológicas de las partículas, las rutas de síntesis, así como sus posibles aplicaciones.

En el capítulo II, se presenta la metodología que se utilizará para la síntesis y el diseño de los puntos cuánticos de carbono.

En el capítulo III, se incluyen los resultados, análisis y discusión de las propiedades ópticas, morfología y composición química de los puntos cuánticos de carbono obtenidos.

Finalmente se incluyen las conclusiones de la investigación.

## Objetivos

### General

Sintetizar puntos cuánticos de carbono por el método hidrotermal variando las condiciones de síntesis como la concentración y pH para mejorar su fotoestabilidad, rendimiento cuántico y estructura para una futura aplicación como biomarcador.

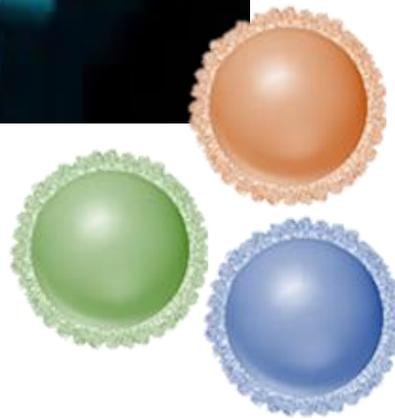
### Específicos

- Sintetizar puntos cuánticos de carbono, por el método hidrotermal mediante la modificación de variables de síntesis evaluando la intensidad de luminiscencia, el rendimiento cuántico, así como la estabilidad.
- Caracterizar microestructural y fisicoquímicamente a los puntos cuánticos de carbono por técnicas de caracterización fisicoquímicas, como espectroscopia de luminiscencia, absorción UV-Vis, infrarroja por la transformada de Fourier, Raman, fotoelectrónica de dispersión de electrones; así como microscopía electrónica de transmisión y barrido.
- Abrir nuevos horizontes en la investigación sobre los PCC y sus aplicaciones en el campo de la nanobiotecnología como biomarcadores o liberadores de fármacos.

# 1



El presente capítulo proporciona los conceptos básicos relacionados con el proyecto de tesis, así como el pasado, presente y futuro de las investigaciones afines a los puntos cuánticos de carbono.



# 1. Fundamentos Teóricos

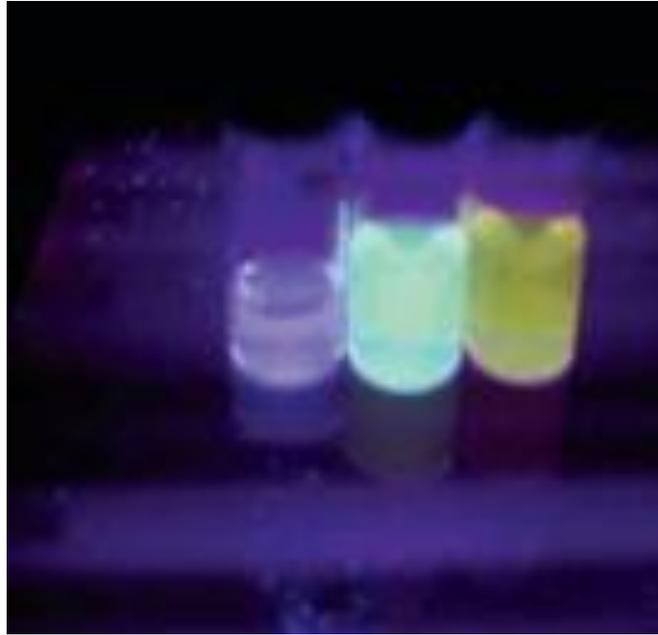
## 1.1 Antecedentes

Alexey Ekimov y Louis Brus, en los años 80s dentro del Instituto Estatal de Óptica Vavivov sintetizaron los primeros cristales de puntos cuánticos de elementos como el Cloruro de cobre ( $\text{CuCl}_2$ ) y Seleniuro de cadmio ( $\text{CdSe}$ ) en soluciones acuosas. [21] Alexe Ekimov estudiaba con lentes semiconductoras buscando revelar un comportamiento en el cambio de color en las partículas en relación a los tamaños, mientras que Louis Brus propuso la dependencia que había en el tamaño de las partículas con relación a la banda prohibida, escribiendo así su modelo matemático o “Modelo de Brus” [22] dado en la **Ecuación 1.1**.

$$Eg_{(nm)} = Eg_{Bulk} + \frac{h^2\pi^2}{2R^2} \left[ \frac{1}{m_e^*} + \frac{1}{m_h^*} \right] - \frac{1.8e^2}{\epsilon R} \quad (1.1)$$

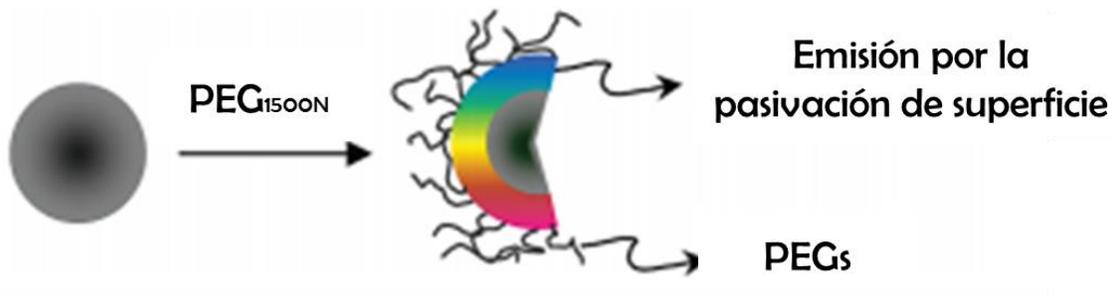
Donde en la ecuación  $Eg_{(nm)}$  y  $Eg_{(Bulk)}$  corresponden a las energías de banda prohibidas de nanopartículas y en bulto respectivamente;  $h$  es la constante de Planck,  $R$  es el radio de las nanopartículas;  $m_e$  y  $m_h$  corresponden a las masas efectivas del electrón y hueco respectivamente;  $e$ , es la carga del electrón. [23]

Xiaoyou Xu y colaboradores (2004), en el departamento de química y bioquímica en la Universidad de Carolina de Sur, experimentaron en la purificación de nanotubos de carbono de pared simple a partir de hollín, mediante un método electroforético oxidando con  $\text{HNO}_3$  [3,3 N] y agua básica (pH 8.4) en sus productos obtuvieron una mezcla de tipos de nanopartículas, unas en forma tubular y las otras con propiedades luminiscentes de tamaño promedio de 1 nm (**Figura 1.1**) las cuales emiten diferentes colores al ser expuestas a una luz UV de 365 nm. [24]



**Figura 1. 1.** Nanopartículas de carbono emitiendo diferentes colores bajo la luz UV. [24]

Ya-Ping Sun y colaboradores (2006), en el departamento de química y laboratorio de materiales y tecnologías emergentes en la universidad de Clemson, buscando una innovación en los materiales luminiscentes-biológicos redujeron las limitaciones en usos in vivo manteniendo las propiedades ópticas, encontraron la sustitución de nanopartículas de silicio recubierto con polímeros por nanopartículas de carbono igualando o superando las propiedades luminiscentes y de toxicidad. Dichas partículas de carbono fueron obtenidas a través de ablación láser a partir de grafito con diámetros de 5 nm, para después pasivar la superficie con PEG para la emisión (**Figura 1.2**). [25]

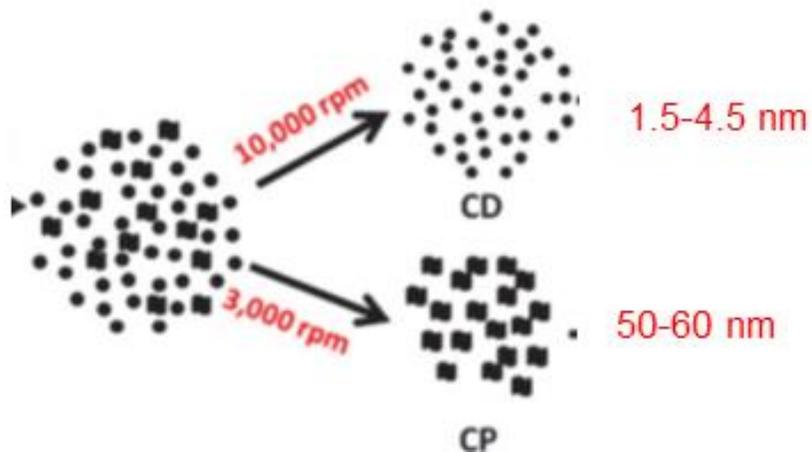


**Figura 1. 2.** Pasivación de superficie de los puntos cuánticos de carbono. [25]

Dengyu Pan y colaboradores (2010), en el Instituto de Nanoquímica y Nanobiología en la Universidad de Shanghai, encontraron una alternativa innovadora y provechosa en la síntesis de puntos cuánticos de carbono mediante rutas de síntesis químicas en lugar de rutas físicas costosas. Esta nueva ruta es mediante un tratamiento hidrotermal a una temperatura de 200 °C por un tiempo de 10 h, a partir de láminas de óxido de grafeno obtenidas por el método de oxidación Hummers. Las nanopartículas de carbono sintetizadas tenían un tamaño promedio de 9.6 nm y una alta luminiscencia y un rendimiento del ~5%. [26]

Yongming Gou y colaboradores (2012), en el Centro Nacional de Nanociencia y Tecnología en Beijing, China, sintetizaron nanopartículas de carbono fluorescentes en solución acuosa, con un rendimiento cuántico del 68% y una buena estabilidad con un tamaño de partícula de 1.59 nm. Los puntos cuánticos de carbono fueron obtenidos a partir de citrato de sodio y bicarbonato mediante un tratamiento hidrotermal con un tiempo de síntesis de 4 h y temperatura de 180 °C siendo inferiores en relación con las reportadas anteriormente en la literatura. [27]

Swagatika Sahu y colaboradores (2012), en el departamento de química en el Instituto de Tecnología de Rourkela, India; sintetizaron nanopartículas a partir de 40 mL de jugo de naranja dentro de un tratamiento hidrotermal a 120 °C en un tiempo de 2.5 h. Dentro de la separación de partículas se obtuvieron partículas con tamaños de 50 a 60 nm (CP “Carbon Particles”) con una velocidad de centrifugación de 3,000 rpm y otras con tamaños de 1.5 a 4.5 nm (CD “Carbon Dots”) a velocidades de 10,000 rpm (**Figura 1.3**). [28]



*Figura 1. 3. Variación del tamaño de partícula en relación con la velocidad de centrifugación. [28]*

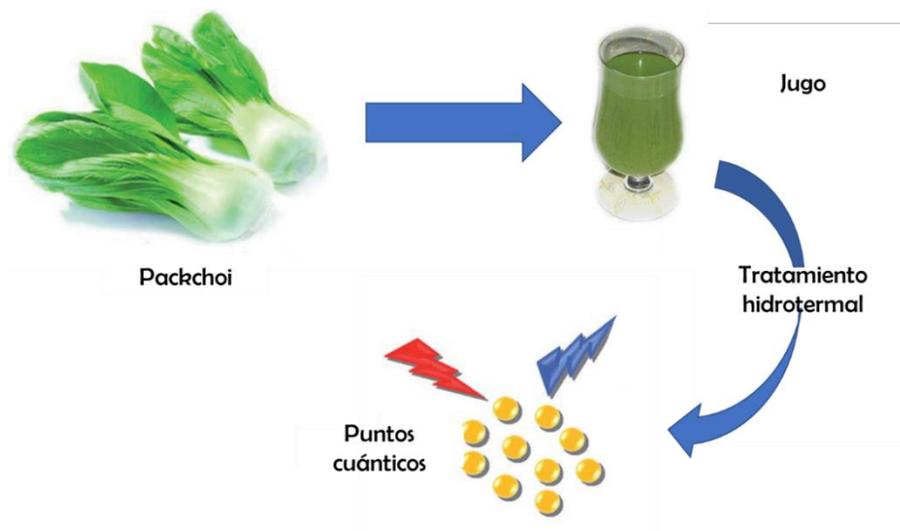
Adhimoorthy Prasannan y colaboradores (2013), en el Departamento de Ingeniería Química en la Universidad Nacional de Ciencia y Tecnología de Taiwan, sintetizaron nanopartículas de carbono luminiscentes de tamaños variables que van de 2 a 7 nm con un rendimiento cuántico de 12.3%, por el tratamiento hidrotérmal a 180 °C en un tiempo de 12 h. Como precursores utilizaron cáscara de naranja la cual fue preparada mediante un lavado con ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) y secado a 150 °C por 10 h, continuando con una oxidación de la cáscara en hipoclorito de sodio (NaClO) durante 4 h, regularon el pH a 7 y finalmente lo sometieron a tratamiento hidrotérmal. [29]

A. L Himaja y colaboradores (2014), en la División de Física y Química Inorgánica en Tamaka, India, obtuvieron puntos cuánticos de carbono a partir de una pasta de desechos de vegetales como piña y pepino, la cual fue llevada a tratamiento hidrotérmal con una temperatura de 150 °C en un tiempo de 2 h, obteniendo partículas con tamaños de ~50nm y la aglomeración que presentan las partículas después de dos semanas, reduciendo el tamaño de las partículas por medio de un ultrasonido o centrifugación. [30]

Jing Wang y colaboradores (2014), en el Instituto de Investigación de Materiales e Ingeniería en Singapur, seleccionaron 4 fuentes vegetales guayaba, pimienta morrón, chícharos y espinaca con mayor proporción de carbono, nitrógeno y oxígeno para la obtención de puntos cuánticos de carbono con un tamaño de

partícula de 10 nm, por el tratamiento hidrotérmal a una temperatura de 180 °C en un tiempo de 4 h. En dicha experimentación variaron las concentraciones de los precursores, dando un concepto que llamaron enfriamiento de la concentración que hace referencia al máximo en la intensidad de emisión con respecto a la saturación del precursor. [14]

Xiaoqing Niu y colaboradores (2015), en el Laboratorio de Química Verde en la Universidad Normal de Henan, sintetizaron nanopartículas de carbono con dopajes intrínsecos de nitrógeno con tamaños de partículas de ~1.7 nm y un rendimiento cuántico del 37.5% a partir de jugo de pakchoi (col china) variando el pH dentro del jugo para el estudio de la intensidad de emisión. Las partículas fueron sintetizadas por el método hidrotérmal a 150 °C en un tiempo de 12 h (**Figura 1.4**). [17]

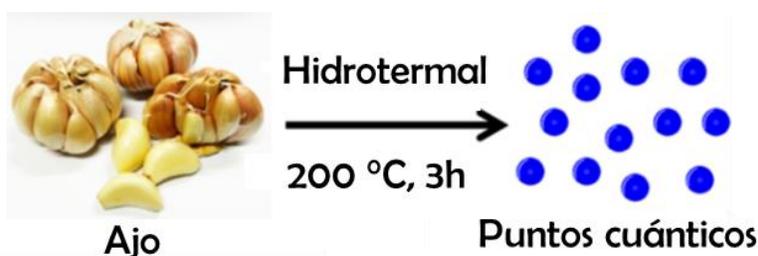


**Figura 1. 4.** Metodología de síntesis por extracto del precursor. [17]

Vaibhavkumar N. Mehta y colaboradores (2015), en el Departamento de Química Avanzada en el Instituto Nacional de Tecnología en la India, sintetizaron puntos cuánticos de carbono con tamaños de partícula de ~3.5 nm y un rendimiento cuántico de 4.27 %, a partir de puré de manzana como precursor, mediante el tratamiento hidrotérmal a una temperatura de 150 °C por un tiempo de 12 h. [31]

Shaojing Zhao y colaboradores (2015), en el Instituto de Física y Química en la Academia de Ciencia en China, obtuvieron puntos cuánticos de carbono con un rendimiento cuántico de 17.5 % y un tamaño de partícula de ~10.5 nm, tomando un

diente de ajo como precursor, el cual fue llevado a un proceso hidrotermal (**Figura 1.5**) durante 3 h a una temperatura de 200 °C. [19]



*Figura 1. 5. Metodología de síntesis sin preparación del precursor. [19]*

Nandhini Arumugam y Jongssung Kim (2017), del Departamento de Ingeniería Química y Biológica, de la Universidad de Gachan en Corea del Sur, tomaron como fuente de carbono jugo de brócoli y realizaron la síntesis por el método hidrotermal a 190 °C en un tiempo de 6 h, obteniendo como resultado partículas de carbono, de diámetros de alrededor de los 2 y 6 nm y sus propiedades ópticas cambiaron con respecto al pH y presentaron un tiempo de estabilidad de 2 semanas. [32]

Shahla Ahmadian-Fard-Fini y colaboradores (2018), en el Instituto de Nanociencia y Nanotecnología en la Universidad de Kashan, India, sintetizaron puntos cuánticos de carbono a partir de jugo de cúrcuma, limón y toronja, con una parte magnética de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  obteniendo partículas conjugadas estilo core-shell de 40 nm de diámetro. [33]

La síntesis de puntos cuánticos de carbono a partir de fuentes vegetales ha sido un tema de investigación novedoso por lo cual existen diferentes trabajos (**Tabla 1.1**) que buscan incrementar el rendimiento cuántico de las partículas, mediante la modificación de las variables de síntesis tales como la concentración del reactivo, pH, temperatura y tiempo de síntesis.

**Tabla 1. 1.** Estado del arte de la síntesis de puntos cuánticos de carbono mediante el método hidrotermal a partir de diferentes fuentes vegetales.

Precursor	t (h)	T (°C)	Concentración (g/mL)	(QY)	Tamaño (nm)	Referencia
<b>Tamarindo</b>	8	180	0.2 g/mL	4 %	1-3	[20]
<b>Calabaza</b>	2	180	NR*	7.51 %	4.5-5.2	[34]
<b>Bagazo de Azúcar</b>	3	180	0.5 g/mL	12.4 %	1.8	[35]
<b>Secado de Papaya</b>	5	200	0.04 g/mL	18.98 %	3.4	[36]
<b>Cilantro</b>	2	240	0.125 g/mL	NR	4.158	[37]
<b>Caña de azúcar</b>	3	120	0.04 g/mL	5.76 %	3	[38]
<b>Jugo de Repollo</b>	5	140	NR	16.5 %	2-6	[11]
<b>Pulpa de Papa</b>	12	170	0.8 g/mL	6.14 %	0.2-2.2	[18]
<b>Extracto de pera</b>	6	180	1 g/mL	10.8 %	1-2	[39]

NR\*, No reportado

## 1.2 Marco teórico

### 1.2.1 La nanotecnología

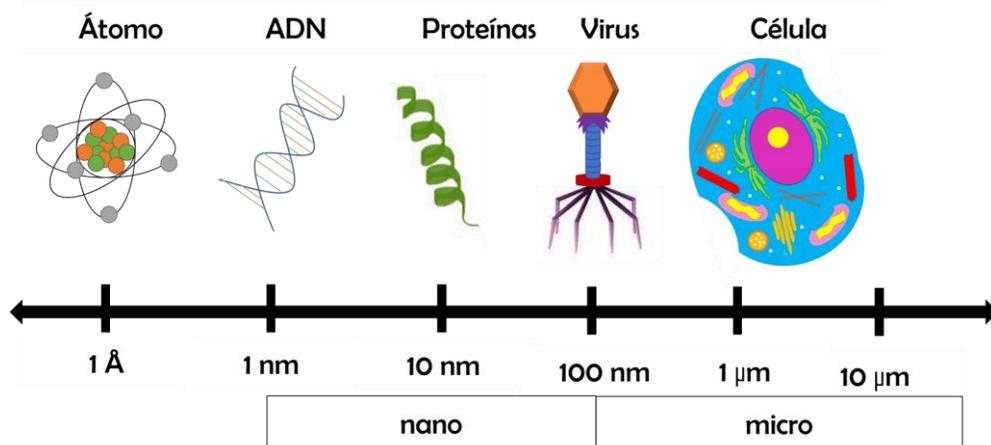
Los materiales, mejor definidos como “la materia que asume un uso”, están constituidos por elementos o compuestos, los cuales ha sido de gran importancia en la vida y desarrollo del ser humano, tanto que en las primeras épocas históricas fueron llamadas con nombres del material más utilizado; así como la edad de piedra, bronce, entre otros, [40] e incluso existe una rama de estudio e investigación denominada “ciencia de los materiales” por el extenso número de materiales existentes.

Hasta hace unos 20 años, la ciencia de materiales básicamente consistía en utilizar los elementos que la naturaleza provee (hierro, silicio, etc.), y desarrollar nuevos compuestos mezclando estos elementos de manera inteligente. Desde entonces, los científicos han aprendido a hacer nuevos dispositivos fabricando estructuras artificiales en las que los átomos se depositan capa por capa y luego se estructuran lateralmente siguiendo arquitecturas prediseñadas, surgiendo así las bases de la nanotecnología. [5]

La nanotecnología, tiene su origen gracias a la introducción de nuevos conceptos sobre el átomo y su funcionamiento, creando así la física cuántica y haciendo a un lado la física clásica. [4] La idea de nanotecnología fue propuesta por el Físico alemán Richard Feynman en su conferencia denominada “Hay muchísimo espacio en el fondo” en el año 1959, mencionando las cautivadoras funciones de las células dentro del cuerpo humano, y así, el propone la fabricación de materiales similares. [41] El término fue acuñado por primera vez por el profesor Norio Taniguchi en su artículo “Nanotecnología consiste en el procedimiento de separación, consolidación y deformación de materiales átomo por átomo o molécula por molécula” en año 1974 [4] y el despertar de dicha ciencia se dio gracias al desarrollo e innovación en los microscopios alcanzando imágenes con resoluciones a escalas atómicas. [2] Aunque las antiguas civilizaciones ya gozaban del uso de la nanotecnología, ya que se han encontrado objetos como el vaso de Lycurgus, el cual está constituido por

una matriz de vidrio con pequeños cristales incrustados con tamaños nanométricos. [3]

La nanotecnología diseña, fabrica e implementa el uso de materiales de tamaños que va desde 1 a 100 nm, tamaños similares a los de una cadena de ADN hasta el tamaño de un virus (**Figura 1.6**). Los nanomateriales son una clase de materiales (cerámicos, metales, polímeros, semiconductores o compuestos de 2 o más combinaciones de estos) teniendo una de sus dimensiones dentro del rango nanométrico, denominados nanopartículas, estas nanopartículas modifican sus propiedades a grandes escalas [3], teniendo así variadas aplicaciones, por su enfoque multidisciplinario en las demás ciencias como la química, biología entre otras. [42]

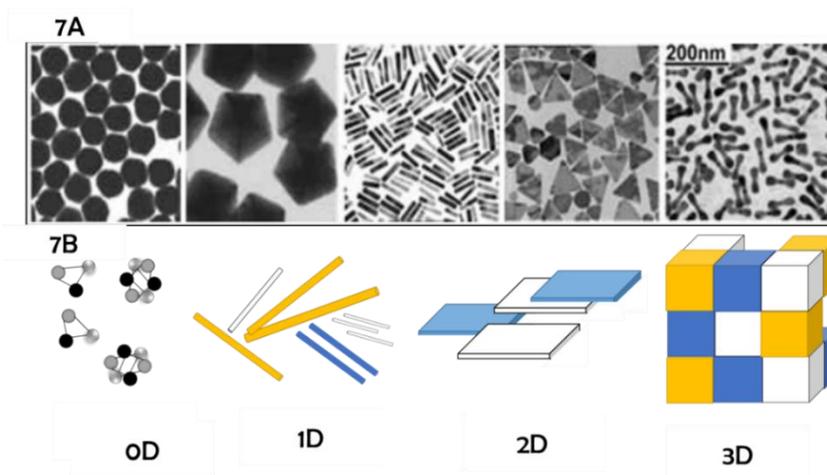


**Figura 1. 6.** Representación gráfica de la escala nanométrica. [Autoría propia]

### 1.2.1.1 Clasificación de las nanopartículas según su forma y dimensiones

Las nanopartículas se pueden presentar en una amplia variedad de formas como esferas, cilindros, tubos, triángulos e incluso flores (**Figura 1.7a**). [6] Las nanopartículas se pueden clasificar de acuerdo a los grados de libertad de los electrones a través de la estructura, [43] es decir, su confinamiento cuántico en (**Figura 1.7b**): materiales cero dimensiones “0D”, donde los electrones están confinados en sus tres direcciones, los ejemplos más comunes son los puntos cuánticos, donde sus 3 dimensiones están dentro del rango nanométrico; unidimensionales “1D”, donde los electrones permiten el flujo de electrones en una

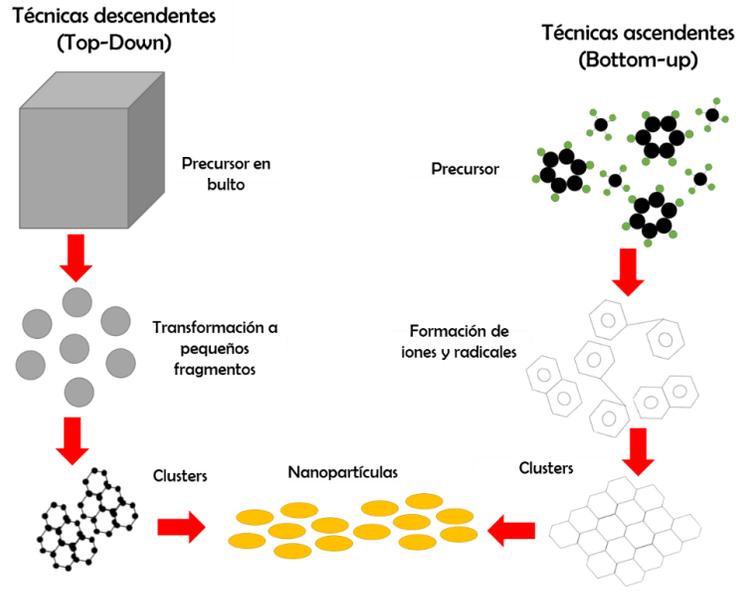
dirección, así mismo una dimensión sale del orden nanométrico, como por ejemplo los cables, tubos o fibras; dimensionales “2D”, donde se permite el pasaje de los electrones en 2 dimensiones y 2 dimensiones salen del orden nanométrico, por ejemplo las capas, recubrimientos o películas. Dentro de esta clasificación existe un gran debate sobre las partículas tridimensionales “3D” ya que algunos autores señalan que estas partículas son más complejas por un conjunto de partículas antes mencionadas, [43] otros donde señalan que en estas partículas tiene sus 3 dimensiones dentro del rango nanométrico pero con la diferencia que las 0D permiten el flujo de los electrones en sus 3 direcciones [2, 6] y por último algunos autores nombran que estas partículas de sus 3 dimensiones salen del rango nanométrico pero cambian su propiedades de materiales en bulto. [27]



**Figura 1. 7.** a) Diferentes morfologías presentes en las nanopartículas; b) Clasificación de las nanopartículas por sus dimensiones. [Autoría propia]

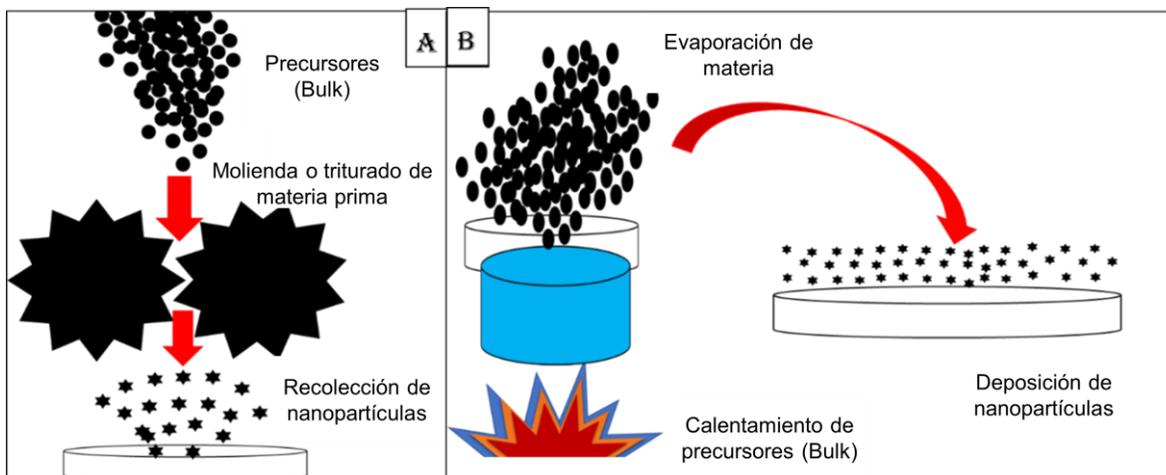
### 1.2.1.2 Clasificación de las nanopartículas según la síntesis

De acuerdo con la procedencia de las nanopartículas se pueden clasificar en dos grupos: a) las técnicas descendentes y b) ascendentes (**Figura 1.8**).



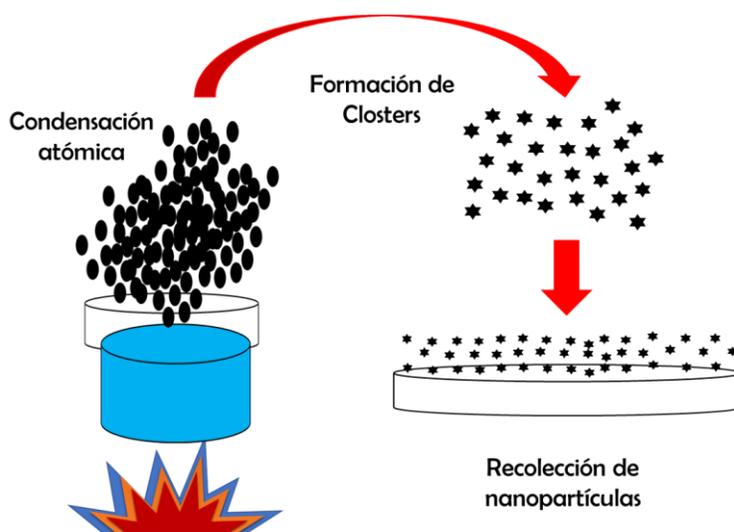
**Figura 1. 8.** Clasificación de las técnicas de síntesis de nanopartículas. [Autoría propia]

Las técnicas descendentes o top-down, son aquellas donde se parte de un material en bulto o macroscópico y se va dividiendo de forma física o química hasta llegar a un tamaño nanométrico. [29, 31] Estas cantidades de materia prima son observables en un microscopio óptico o con el ojo humano. Este tipo de técnicas incluyen varios pasos, como un escultor parte de un bloque de material y lo va desgastando, cavando, moliendo, cortando y reduciendo su tamaño hasta llegar a la efigie deseada. Lo mismo pasa con el investigador que parte de un material en bulto el cual pasa por procesos mecánicos como molienda o por desgaste de material (**figura 1.9a**), por procesos fisicoquímicos donde evaporan el precursor para un procesado por gases por ejemplo la deposición química de vapor (CVD por sus siglas en inglés), pirólisis o procesamiento por plasma (**Figura 1.9b**). [43]



**Figura 1. 9.** Ejemplos de síntesis descendentes, a) Síntesis por molienda de granos (método físico); b) Síntesis por evaporación (método químico). [Autoría propia]

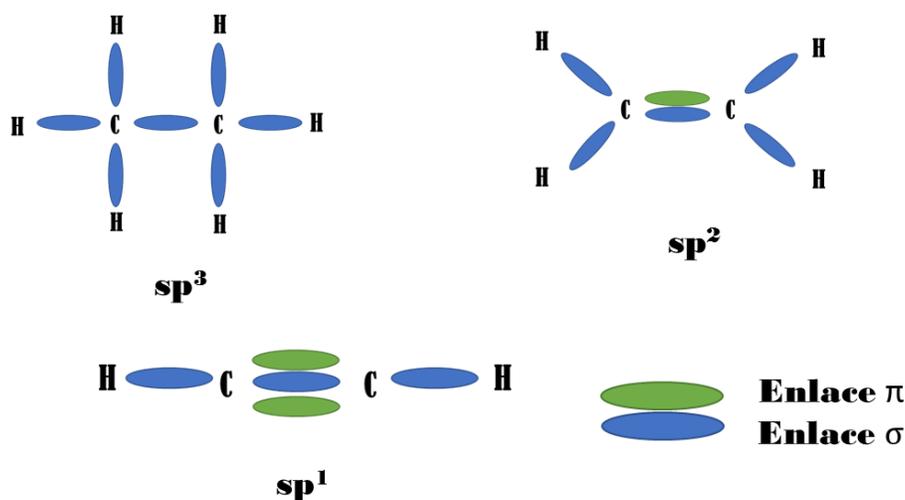
Las técnicas ascendentes o bottom-up, consiste en el ensamblado por efecto de la condensación de átomo o moléculas en forma gaseosa o acuosa, dicho proceso en forma química (**Figura 1.10**). [29, 31] Este tipo de métodos se asemeja a la construcción de una casa ladrillo por ladrillo, siendo acoplado por partes pequeñas hasta tener la edificación, aunque el autoensamblaje de los átomos no requiere de la mano del hombre, sino que este propondrá las condiciones para la formación. [43] Siendo más utilizados los métodos bottom-up por las ventajas en el control de tamaño y reproducibilidad, así como la rentabilidad en la instrumentación utilizada. [7, 27]



**Figura 1. 10.** Ejemplo de síntesis ascendentes. [Autoría propia]

## 1.2.2 Partículas a base de carbono

El carbono es el elemento más importante de nuestro mundo ya que es el componente principal de los seres vivos y da las bases para la química orgánica. [42] Es un elemento sorprendente, ya que gracias a sus hibridaciones orbitales  $sp$ ,  $sp^2$  y  $sp^3$  puede formar enlaces covalentes sencillos, dobles y hasta triples (**Figura 1.11**), lo que provoca innumerables estructuras moleculares. [45]



*Figura 1.11. Enlaces e hibridaciones entre átomos de carbono. [Autoría propia]*

El carbono es tan importante para el desarrollo de la nanotecnología ya que en las últimas décadas se han descubierto nuevas estructuras aparte del diamante y del grafito, que son atractivas por sus propiedades que presentan entre estas están los nanotubos, fullerenos, nanodiamantes, el grafeno y los puntos cuánticos. [39, 40]

### 1.2.2.1 Fullerenos

Los fullerenos o Bucky-ball, nombrados así en honor al arquitecto Richard B. Fuller y por la terminación *-eno* dado por los grupos alquenos, poseen una estructura de cúpula geodésica parecida a un balón de fútbol constituida por pentágonos y hexágonos (**Figura 1.12**) teniendo en su estructura diferentes cantidades de átomos de carbono que varían desde los 32 hasta los 600, con una hibridación  $sp^2$ . [36, 41]

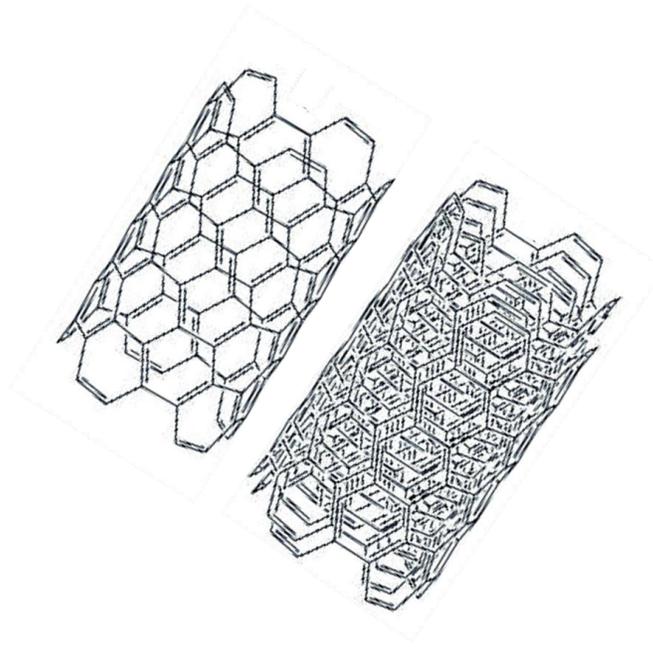


*Figura 1. 12. Estructura de los fullerenos o Bucky-ball. [Autoría propia]*

La estructura más estudiada es el fullereno  $C_{60}$ , el cual consta de 12 pentágonos y 20 hexágonos ya que posee una simetría perfecta, gran estabilidad y abundancia. Dicha partícula fue propuesta por E. Osawa en el año 70, para después ser descubierta por H, Kroto y sus colaboradores al observar una señal de absorción de rayos infrarrojos a billones de kilómetros de distancia de la tierra [36, 42] y sintetizadas por primera vez por Huffman y Krätschmer en 1983 cuando evaporaban grafito mediante una corriente con una atmósfera de helio. [49]

### **1.2.2.2 Nanotubos de carbono**

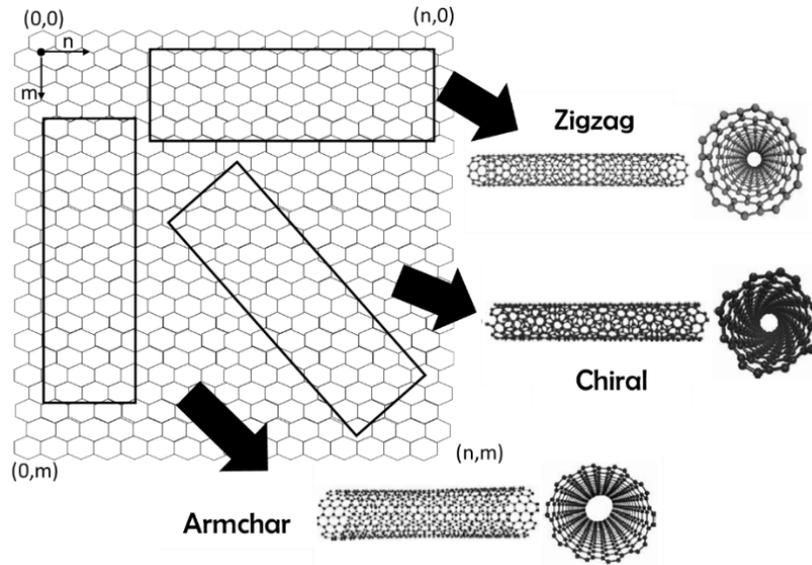
Los nanotubos de carbono fueron descubiertos en 1991 por S. Iijima, al estudiar la descarga eléctrica sobre el gráfico para la obtención de fullerenos. Encontrando subproductos en forma de pequeños filamentos de algunos nanómetros de diámetro y micrómetros de largo, que al principio creían que era desecho de carbono pulverizado. En los años recientes se han obtenido nanotubos de pared simple (SWNT) y pared múltiple (MWNT) (**Figura 1.13**). [36, 39]



**Figura 1. 13.** Estructura de los nanotubos de carbono de pared simple y multicapas. [Autoría propia]

Los nanotubos de carbono son cilindros largos, que presentan una hibridación  $sp^2$  como los fullerenos y una  $sp^3$  similar a la de un diamante. Los nanotubos de pared simple son solo un cilindro, mientras que los de pared múltiple consiste varios cilindros complementados uno dentro de otro sucesivamente entre capas difiriendo los radios de dichos cilindros. [45]

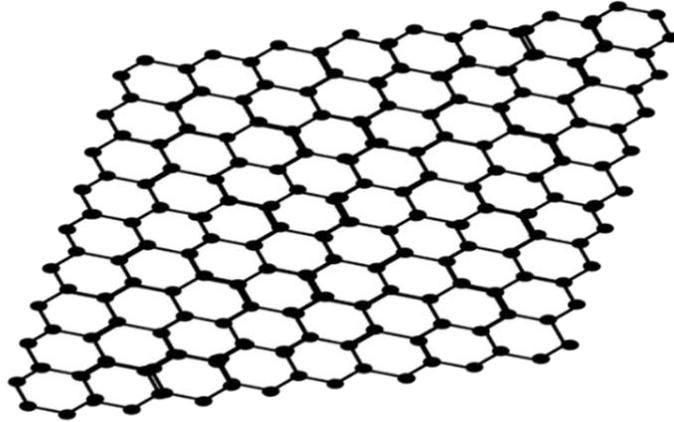
Los nanotubos se enrollan concéntricamente en láminas con índices  $(n,m)$ , dependiendo de la forma en que se enrollen (**Figura 1.14**), dependerán sus propiedades. Por ejemplo, si  $n=m$  se le nombra *Armchair*, donde sus propiedades son de un material conductor; si  $(n,0)$  son *Zigzag*, donde se comportan como materiales aislantes; y por último  $(n,m)$  donde  $m \neq 0$  se le conoce como *Chiral*, cuyas propiedades son semiconductoras. [50]



**Figura 1. 14.** Clasificación de los nanotubos de carbono en relación con su forma de enrollarse.  
[Autoría propia]

### 1.2.2.3 Grafeno

El grafeno material nanométrico de dos dimensiones que posee un átomo de espesor. Las diferentes propiedades mecánicas, químicas, así como electrónicas dependen mucho del arreglo que asemeja a un panal de abeja (**Figura 1.15**) por su configuración atómica hexagonal, en el cual los átomos están fuertemente enlazados mediante la hibridación  $sp^2$ . [45–47] Lo que hace peculiar al grafeno con relación a las demás alotropías del carbono que es considerado la unidad constructora, por ejemplo, si se enrolla cilíndricamente se convierte en un nanotubo, si se forra una estructura esférica tenemos fullerenos, si se superpone en tercera dimensión da la estructura del grafito. [51]



*Figura 1. 15. Estructura laminar del grafeno. [Autoría propia]*

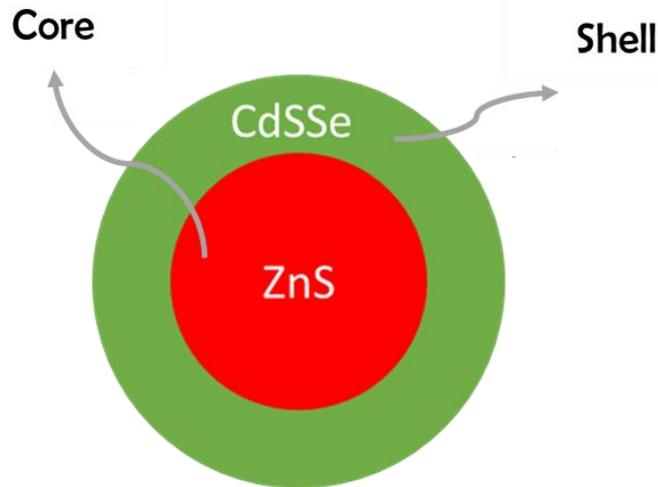
### **1.2.3 Puntos cuánticos**

Los puntos cuánticos o también conocidos como nanocristales o átomos artificiales, típicamente, pueden contener desde 100 a 100 000 átomos, con un diámetro total de partícula entre 1 a 10 nm, aunque existen con mayores dimensiones. [32, 33] En esta pequeña escala de longitud, los materiales se comportan de manera diferente, otorgándoles nuevas propiedades electrónicas y ópticas atribuidas a un fenómeno conocido como confinamiento cuántico. [54] Como resultado, estos materiales tienen propiedades que son intermedias entre los semiconductores convencionales y las moléculas discretas.[34, 35]

Los PCC se descubrieron por primera vez en 1980 por dos grupos independientes, uno en Rusia por Alexei I. Ekimov en una matriz de vidrio; y el otro en Estados Unidos por Louis E. Brus y Alexander Afros quienes obtuvieron puntos cuánticos en soluciones coloidales. [14, 15, 33] El término de “punto cuántico” fue acuñado por el físico estadounidense Mark A. Reed, quien buscaba reflejar el hecho de que son una clase especial de semiconductores, están confinados en las tres dimensiones espaciales por el tamaño físico tan pequeño que poseen estas partículas. [58]

Por lo general, los puntos cuánticos tienen composiciones binarias de elementos pertenecientes a los grupos II-VI, III-V o IV-VI en la tabla periódica, como ZnS, CdS, CdSe, HgS, GaAs, InP, InAs, entre otras y composiciones ternarias como CdZnS,

CdSSe, InNP o InGaAs, con estructura núcleo-coraza (core-shell), (**Figura 1.16**) para la mejora en el rendimiento cuántico en la luminiscencia en un 50%. [32, 33]



*Figura 1. 16. Estructura core-shell de los puntos cuánticos. [Autoría propia]*

### **1.2.3.1 Puntos cuánticos de carbono**

Los puntos cuánticos de carbono son miembros de la familia de nanomateriales a base de carbono [13] se descubrieron mediante la purificación de nanotubos de carbono de pared simple mediante una electroforesis preparativa [12]. Los puntos cuánticos de carbono han llamado la atención de muchos investigadores por amplio campo de aplicaciones en; bioimágenes, biosensores, diagnósticos médicos, transportadores de fármacos, catálisis y celdas fotovoltaicas; [59] por sus fascinantes propiedades fotoluminiscentes, alta fotoestabilidad, biocompatibilidad, [60] su pequeño tamaño, y su baja toxicidad. [61]

Haciendo comparación con los puntos cuánticos semiconductores los de carbono presentan una buena biocompatibilidad, esto se debe a su composición química que permite una interacción con organismos y células [34-36].

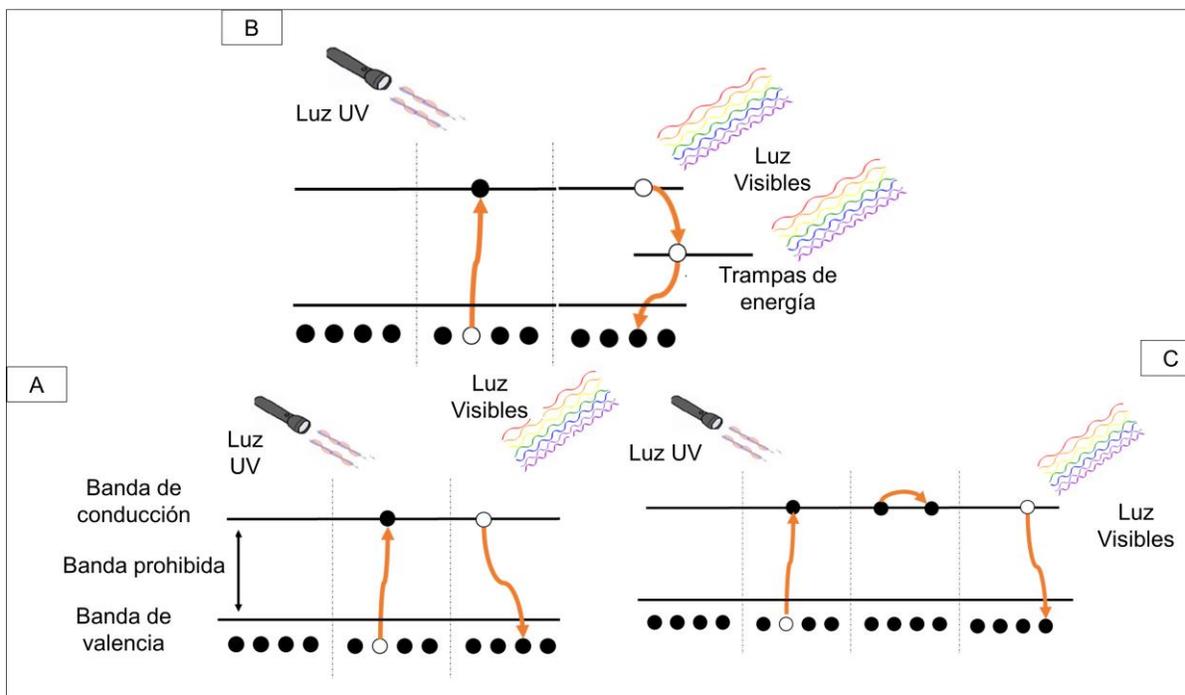
### **1.2.3.2 Confinamiento cuántico y proceso de emisión**

El confinamiento cuántico es un fenómeno que va de la mano con los semiconductores de cero dimensiones como los puntos cuánticos, esto se debe a

la restricción de los electrones hacia el núcleo del átomo, [62] a la interacción electromagnética por la carga negativa de los electrones y la carga positiva del núcleo [5] lo cual hace que sus propiedades electrónicas y ópticas sean las más afectadas y por ello las más estudiadas ya que dichas propiedades serán determinadas por el tamaño de partícula. [62]

Este confinamiento cuántico es el responsable de la luminiscencia en los PCC ya que se posee una banda energética llena de electrones (banda de valencia) y una banda energética vacía (banda de conducción) separadas por un diferencial de energía (banda prohibida o band gap). El proceso de luminiscencia consiste en la creación de un excitón (hueco-electrón), donde un electrón sale de la banda de valencia por acción de la absorción de luz ultravioleta a la banda de conducción dejando un hueco, el cual será cubierto por otro electrón liberando un fotón en longitudes de onda dentro del rango visible. [47–49]

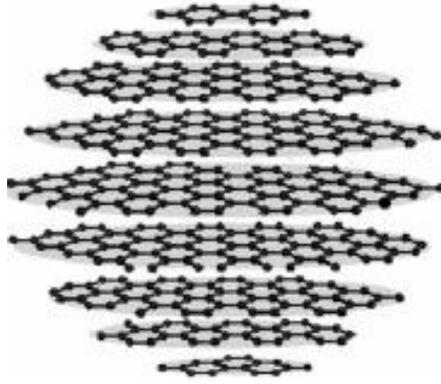
Estos procesos de formación de excitones que se pueden dar dentro del proceso de luminiscencia en los puntos cuánticos por una recombinación radiactiva (**Figura 1.17a**), el cual es explicado por una recombinación clásica electrón-hueco o transiciones electrónicas de dominios  $\pi$  conjugados, este fenómeno se crea cuando los dominios  $\pi$  se aíslan dando hibridaciones  $sp^2$  ricas en electrones  $\pi$ . Por recombinación por trampas (**Figura 1.17b**), donde los electrones caen en estados metaestables dentro de la banda prohibida provocados por trampas superficiales de las partículas, dicho fenómeno es por dominios  $sp^2$  no perfectos e hibridaciones  $sp^3$ . [10] Por último, en muy pocas veces por recombinaciones Auger (**Figura 1.17c**) en donde los electrones al ser excitados colisionan con otros electrones cediendo energía potencial, un electrón secundario provoca la emisión.



**Figura 1. 17.** Formación de excitones por recombinación: a) Radiativa; b) Por trampas; c) Auger. [Autoría propia]

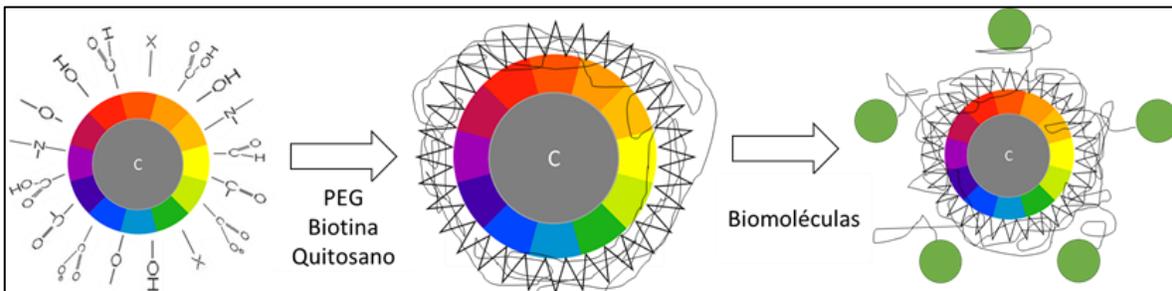
### 1.2.3.3 Estructura de los puntos cuánticos

Las estructuras de los puntos cuánticos de carbono como los demás materiales dependen de las condiciones de síntesis, estas partículas se pueden presentar en forma de cuasi-esferas o con estructura hueca; pueden ser amorfos y nanocristalinos con clústeres de carbono o laminados de grafeno (**Figura 1.18**) con hibridación  $sp^2$  y algunos son reportados con estructura de tipo diamante con hibridación  $sp^3$ . [19, 47]



**Figura 1. 18.** Estructura de puntos cuánticos de carbono en forma de laminados de grafeno. [Autoría propia]

Otra diferencia en la estructura es la composición química, al igual que la estructura interna, la morfología depende de la ruta de síntesis de los puntos cuánticos, en su mayoría es gracias a la composición de la fuente de obtención ya que la partícula presentará múltiples especies que contengan oxígenos en diferentes grupos orgánicos como hidroxilos, carboxilos y aldehídos [64] o compuestos nitrogenados como aminas, amidas, nitrilos, aromáticos entre otros, (**Figura 1.19**) que favorecen a la conjugación o método de anclaje con biomoléculas. [65]

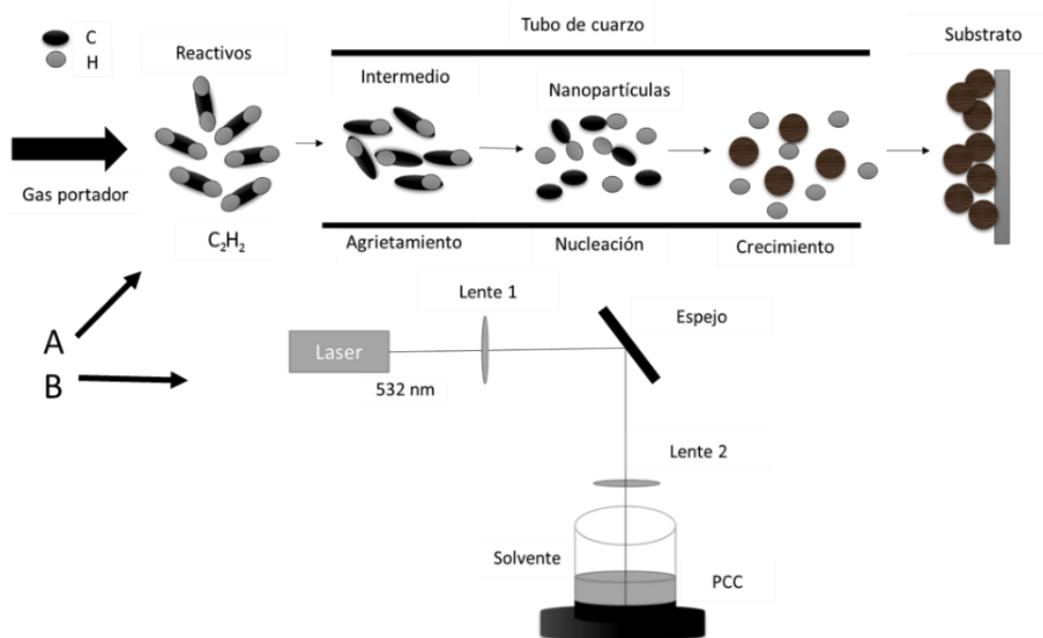


**Figura 1. 19.** Composición de la superficie, así como el proceso de funcionalización de puntos cuánticos de carbono. [Autoría propia]

#### 1.2.3.4 Métodos de síntesis de los puntos cuánticos de carbono

A partir de su obtención en soluciones coloidales, se han establecido diferentes rutas de obtención de los puntos cuánticos de carbono que van de métodos químicos de materiales como el hollín, formaldehidos por oxidación térmica, deposición de vapor (**Figura 1-20a**) electroquímica y métodos físicos de materiales como el grafito y nanotubos de carbono por ablación láser (**Figura 1-20b**),

microondas, tratamiento ultrasónico, descarga de arco, tratamientos con plasma. [11]



**Figura 1. 20.** Métodos de síntesis de puntos cuánticos de carbono a) CVD y b) ablación láser. [Autoría propia]

Sin embargo, estas rutas de síntesis requieren de precursores difíciles de obtener, implican el uso de equipos sofisticados y un control de síntesis complejo lo que hace que sean costosos y dañinos al medio ambiente por la liberación de subproductos peligrosos. [66] Por esa razón, existe una necesidad de establecer nuevos métodos amigables con el medio ambiente y baratos, como la síntesis verde.

#### 1.2.3.4.1 Síntesis hidrotérmal

La síntesis verde de PCC se centra en la selección de precursores verdes, en otras palabras, de materia prima denominada biomasa. [64] En la carbonización hidrotérmal o método hidrotérmal, es un método efectivo debido a que ofrece simplicidad, reacciones y condiciones controladas, rapidez y rentabilidad, [34] utiliza bajas temperaturas de síntesis, agua como medio de reacción donde los precursores tradicionales como en otras rutas son reemplazados por materia orgánica renovable como las cáscaras de frutas, [29] zumos vegetales, [17] productos proteicos como la leche [67] o la seda, hasta de desechos que contengan

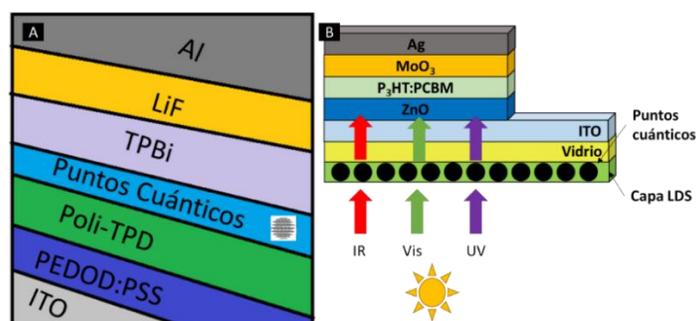
carbón. [30] Con la gran variedad de compuestos orgánicos naturales y diferencias en las condiciones de síntesis se han logrado con éxito la obtención de PCC con diferentes rendimientos cuánticos y tamaños de partícula [26], al igual que diferencias en sus propiedades y estructuras. [64]

### 1.2.3.5 Aplicaciones de los puntos cuánticos de carbono.

Debido a sus diferentes propiedades y su fácil conjugación con otros elementos, los puntos cuánticos pueden desempeñar diversas aplicaciones ópticas, químicas y biológicas. [6, 17, 19, 22]

#### 1.2.3.5.1 Aplicaciones ópticas

Los puntos cuánticos mediante la conjugación de elementos como el nitrógeno, fósforo y azufre, entre otros, así como compuestos como dióxido de rutenio ( $\text{RuO}_2$ ), dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ), su dispersión en polímeros y acoplamientos con otros materiales, hacen que estos sean más fotoestables y termoestables, además de modificar propiedades mecánicas, de emisión, absorción, almacenamiento de energía, transportación de iones y eléctricas para aplicaciones en dispositivos emisores de luz (LED), celdas solares o súpercapacitores (**Figura 1-21**). [19, 25]



**Figura 1. 21.** Acoplamiento de puntos cuánticos con otros compuestos para a) LED y b) Paneles solares. [Autoría propia]

#### 1.2.3.5.2 Aplicaciones químicas

Aprovechando la pasivación de superficie de los puntos cuánticos de carbono tienen aplicaciones para la detección de iones presentes en productos alimenticios que

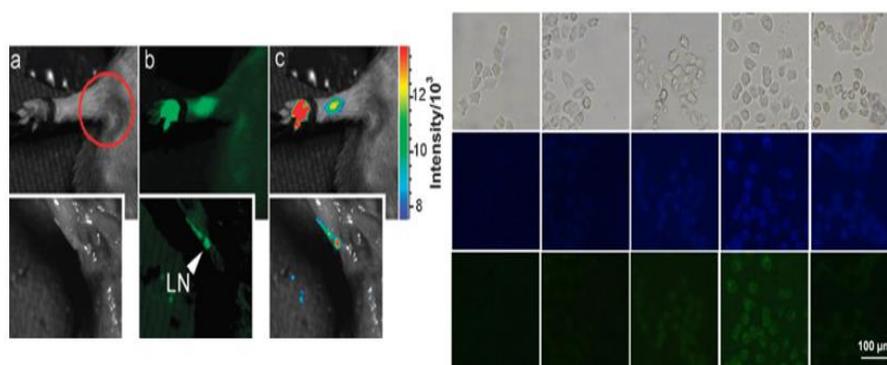
tiene alta toxicidad, así como el peligro que presentan al medio como lo es el ion mercurio ( $\text{Hg}^{2+}$ ) o algunas neurotoxinas como el metilmercurio ( $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ ) asociadas al consumo de pescado mediante un recubrimiento hidrofóbico de PEG. [65]

Otra aplicación de sensado químico de los puntos cuánticos de carbono aprovechando los grupos funcionales en su superficie tales como los ácidos carboxílicos ( $-\text{COOH}$ ) y las aminas ( $-\text{NH}_2$ ), además de recubrimientos poliméricos y algunas estructuras metal-orgánicas detectan iones de Cobre ( $\text{Cu}^{2+}$ ), Hierro ( $\text{Fe}^{3+}$ ), Cromo ( $\text{Cr}^{2+}$ ), Plata ( $\text{Ag}^+$ ) y Plomo ( $\text{Pb}^{2+}$ ). [15, 21]

### 1.2.3.5.2 Aplicaciones biológicas

Dentro de las aplicaciones biológicas, los puntos cuánticos de carbono destacan entre las demás partículas luminiscentes por sus propiedades claves para la introducción al cuerpo humano por su biocompatibilidad y su nula toxicidad. [68]

Dentro de las aplicaciones biológicas o de bioetiquetas, mediante la conjugación de los puntos cuánticos con biomoléculas tales como proteínas, anticuerpos o fragmentos genéticos [20], son capaces de detectar células como HepG2, HeLa, células en presencia de cáncer, [20, 28] entre otros tipos de células y la detección de bacterias como E. Coli, [66] (**Figura 1-22**) en ratones así como bacterias en un cultivo microbiológico.

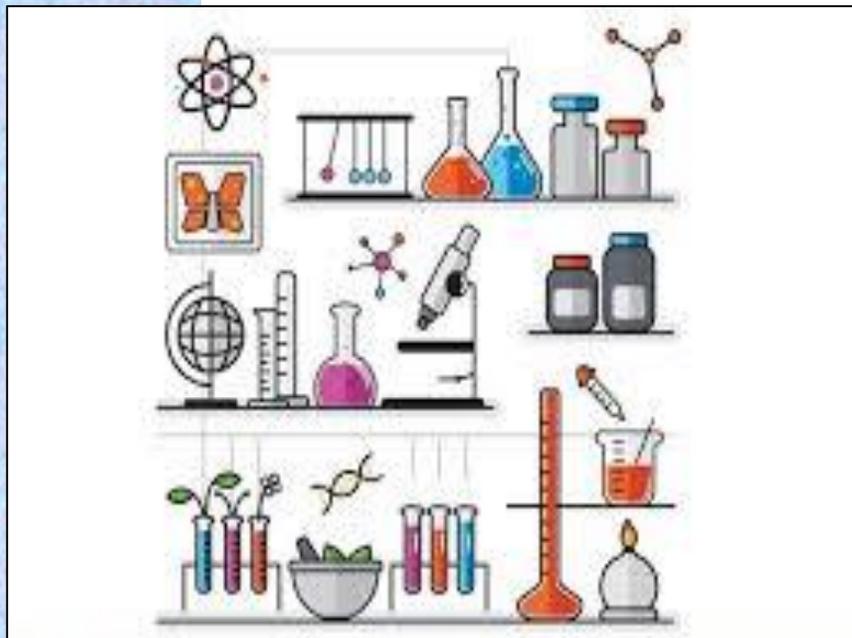


**Figura 1. 22.** Puntos cuánticos de carbono con aplicación de bioetiquetas a) Células cancerígenas y b) E. Coli. [10]

Otra de las aplicaciones biológicas de más auge de los puntos cuánticos es la proliferación de fármacos, ya que se ha demostrado que estas partículas de carbono

poseen capacidad para transportar pequeñas cantidades de medicamentos debido a la estabilidad con otras moléculas y sus pequeños tamaños que permiten la identificación de células dañadas minimizando así los efectos en células benignas.  
[15, 20, 28]

# 2



En el presente capítulo se enlistan los reactivos y equipos empleados en la síntesis de PCC, así como la descripción de la metodología para la obtención y caracterización de las nanopartículas.

## 2. Desarrollo experimental

## 2.1 Lista de equipos y reactivos

### 2.1.1 Reactivos

Para la síntesis de los puntos cuánticos de carbono se utilizaron los siguientes reactivos:

- Fuente vegetal
  - Kiwi
- Agua desionizada
- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>
- NaOH

### 2.1.2 Equipos

El tratamiento hidrotermal se realizó dentro de reactores de la marca Huanyu® de alta presión para laboratorio (*autoclave*), la cual tiene una capacidad máxima de 100 mL, ideal para la obtención de PCC para sus posteriores caracterizaciones correspondientes; alcanza una temperatura de hasta 280 °C, temperatura requerida para la formación de las nanopartículas de carbono.

El secado la mufla Felisa modelo FE-292D y el horno Thermo-Scientific modelo 3608. Los cuales alcanzan una temperatura de 250 y 220 °C respectivamente, temperaturas idóneas para la eliminación de agua.

La separación de partículas se realizó en una centrifugadora de la marca Hermile Labnet modelo z-320, con una velocidad máxima de 10,000 rpm necesaria para la separación de estas y obtener así tamaños más pequeños y homogéneos.

## 2.2 Metodología experimental

El tratamiento hidrotermal es una técnica que nos brinda simplicidad de reacción, así como un control en la formación de las partículas. La desventaja es que después de la reacción se debe de eliminar algunos subproductos formados por la reacción (**Figura 2.1**), así como una preparación previa de los precursores. A continuación, se realizará una descripción paso a paso sobre la síntesis de PCC.

### 2.2.1. Descripción de la síntesis

Se utilizó kiwi como fuente vegetal para la obtención de los PCC.

Se preparó el precursor fresco, cortándolo en pequeños cuadros de 3x3 cm aproximadamente.

Se pesaron 10 g del precursor el cual fue licuado con 85 ml de agua desionizada. Después de tener la solución preparada se llevó al tratamiento hidrotermal. La síntesis se realizó a una temperatura de 200 °C por un tiempo de 5 h.

Posteriormente del tratamiento hidrotermal, se dejó enfriar a temperatura ambiente para seguir con la variación de la concentración realizando diluciones porcentuales de PCC sintetizados en agua desionizada y variación del pH en los puntos cuánticos obtenidos (**Tabla 2.1**).

Para concluir se realizó la separación de partículas.

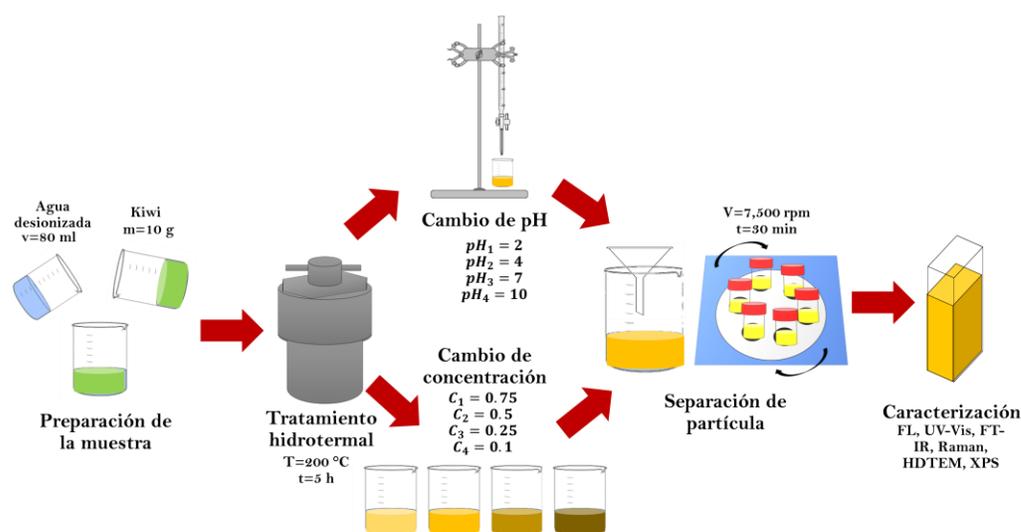
*Tabla 2. 1. Variación de la concentración en los PCC y de pH.*

Diluciones	pH
100% PCC- 0% H <sub>2</sub> O	Natural 3.27
75% PCC- 25% H <sub>2</sub> O	10
50% PCC- 50% H <sub>2</sub> O	7
25% PCC- 75% H <sub>2</sub> O	4
10% PCC- 90% H <sub>2</sub> O	2

Para terminar, se llevó la separación de partículas en tres pasos:

1. Decantación: Por la acción de densidades las partículas se separan, la fase líquida de la sólida.
2. Centrifugación: Por la fuerza centrífuga a una velocidad de <math><5,000\text{ rpm}</math> los PCC en solución comienzan a separarse para así disminuir y homogenizar el tamaño de partícula.
3. Filtración: con el tamaño de poro menor a

Después de la separación se obtuvieron los PCC en solución acuosa, los cuales se caracterizaron inmediatamente por las técnicas fisicoquímicas correspondientes.



**Figura 2. 1.** Modelo de síntesis de PCC variando la concentración y pH después del tratamiento hidrotermal. [Autoría propia]

### 2.3 Caracterización de los PCC

Los puntos cuánticos obtenidos se caracterizaron por diferentes técnicas espectroscópicas, microscópicas electrónicas, así como de difracción de rayos X, obteniendo información particular de las propiedades ópticas, químicas, estructurales y morfológicas de las nanopartículas.

### **2.3.1 Espectroscopía de absorción UV-Vis**

Para la caracterización de los PCC obtenidos se requirió de un espectrómetro ParkinElmer Lambda XLS, disponible en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo en el Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales. La muestra se preparó mediante una dilución con agua desionizada. Después se colocó la solución en la celda de vidrio y se introdujo al equipo. Obteniendo información sobre una aproximación de la longitud de onda de absorción para la emisión de los puntos cuánticos, así como las transiciones electrónicas e información requerida para el cálculo de la energía de banda prohibida (band gap).

### **2.3.2 Espectroscopía de fotoluminiscencia**

Dicha prueba se llevó a cabo en un espectro fluorómetro “Flouromax-4, dentro del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. La muestra se vierte sobre una celda de cuarzo o plástico. Obteniendo información sobre los máximos de excitación de la muestra para conocer la longitud de onda tendrá la mayor emisión, así como la intensidad de emisión máxima, dicha curva no proporciona información preliminar sobre el tamaño de partícula y color de emisión de los puntos cuánticos que después serán confirmado por las coordenadas cromáticas.

### **2.3.3 Espectroscopía infrarroja por la transformada de Fourier (FT-IR)**

Esta caracterización se realizó en un espectrómetro infrarrojo PerkinElmer FT-IR System Spectrum Gx, de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo en el Área Académica de Química. Los PCC se colocaron en un porta muestras adaptado para soluciones líquidas. Los resultados obtenidos son vibraciones y estiramientos moleculares correspondientes a grupos orgánicos funcionales.

### **2.3.4 Espectroscopía fotoelectrónica de rayos X (XPS)**

La caracterización de espectroscopía fotoelectrónica de rayos X se realizó en un equipo del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP). La muestra se preparó sobre cinta de cobre dejando cinco gotas de PCC en solución, los cuales se llevaron a secado

bajo una lámpara incandescente evaporando el solvente. De los espectros obtenidos podemos obtener información sobre la composición química de las nanopartículas obtenidas.

### 2.3.5 Microscopía electrónica de transmisión de alta resolución (HRTEM)

Las micrografías se obtuvieron de un microscopio electrónico de Transmisión de alta resolución (Titan FEI), del Instituto Mexicano del Petróleo. Para la obtención de las imágenes se utilizaron porta muestras de cobre y zinc, en los que se colocaron cinco gotas de la solución de PCC y fueron colocadas bajo una lámpara incandescente para la evaporación del solvente. La información que podemos obtener de las micrográficas es la morfología, el tamaño, así como la cristalinidad de los PCC.

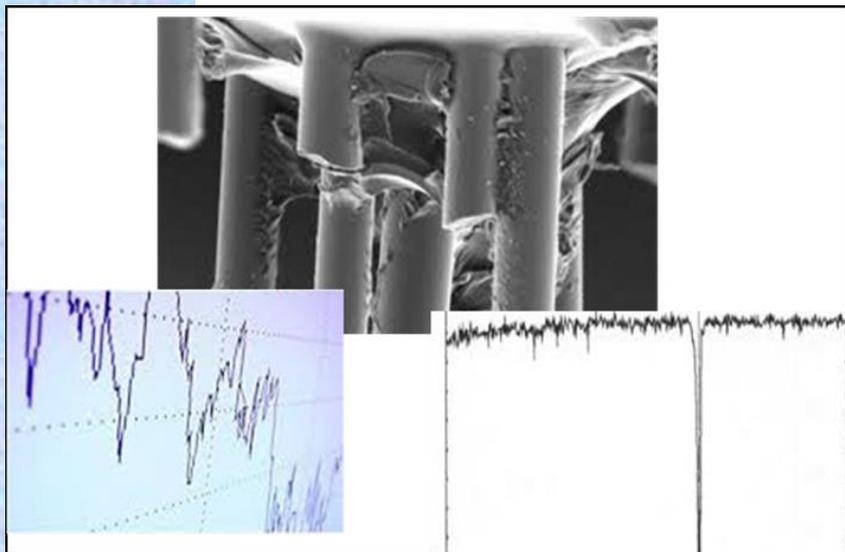
### 2.4 Cálculo del rendimiento cuántico

El rendimiento cuántico fue determinado a una longitud de onda de excitación a 390 nm por la **Ecuación 2.1**:

$$Q_c = Q_R \cdot \frac{I_c}{I_R} \cdot \frac{A_R}{A_c} \cdot \frac{\eta_c^2}{\eta_R^2} \quad (2.1)$$

Donde “Q” es el rendimiento cuántico, “I” es la intensidad de los espectros de luminiscencia, “A” es la longitud de onda de absorbancia de excitación y “η” es el índice de refracción del solvente utilizado; usando sulfato de quinina como referencia. Los subíndices “c” de los puntos cuánticos de carbono y “R” de referencia.

# 3

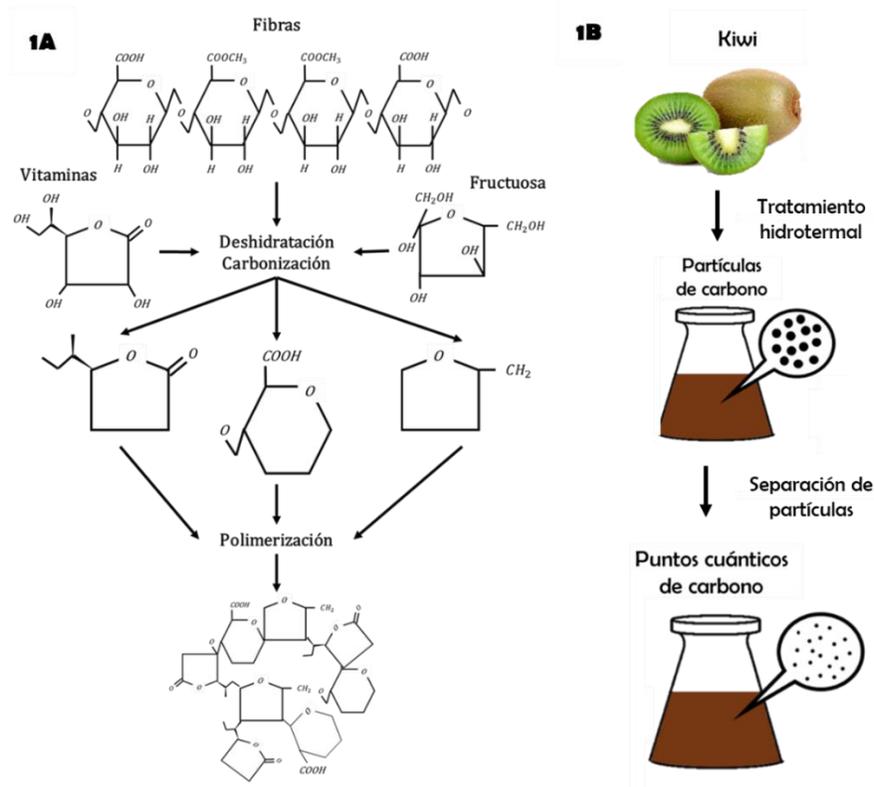


En el presente capítulo se presentan los resultados obtenidos de la caracterización fisicoquímica, así como el análisis de las propiedades ópticas, químicas, estructurales y morfológicas de los PCC sintetizados.

## 3. Resultados y discusión

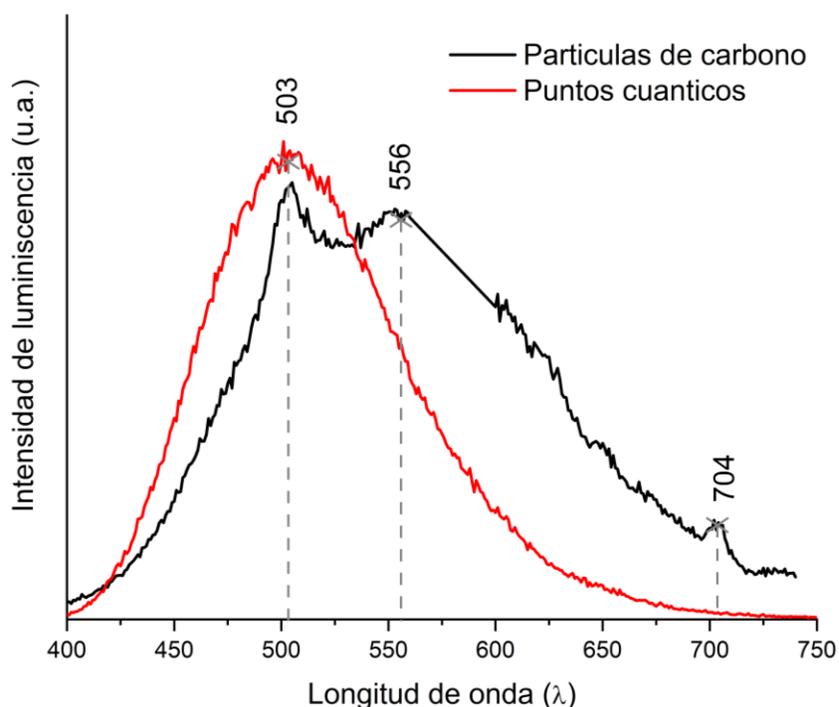
### 3.1. Síntesis

El kiwi, es el fruto de la *actinidia*, planta trepadora de la familia de las *actinidiáceas*. El kiwi tiene en su composición gran parte de agua (86 %) e hidratos de carbono en forma de azúcares (11 %) predominando la fructuosa. [70] En el proceso de síntesis dentro del tratamiento hidrotermal se lleva a cabo una carbonización, deshidratación y polimerización de los principales componentes como los azúcares del precursor. [28, 71] A partir de esta información se realizó un esquema (**Figura 3.1a**) de la posible formación de los PCC. Al término del tratamiento hidrotermal se obtiene nanopartículas de carbono (NpC) en solución acuosa de diferentes tamaños, los cuales se reducen después de la separación de partículas por medio de filtración y centrifugación a velocidades mayores a 5,000 rpm [28] obteniendo así los PCC. (**Figura 3.1b**)



**Figura 3. 1.** a) Posible formación de los PCC. b) Cambio de tamaño en la síntesis de puntos cuánticos.

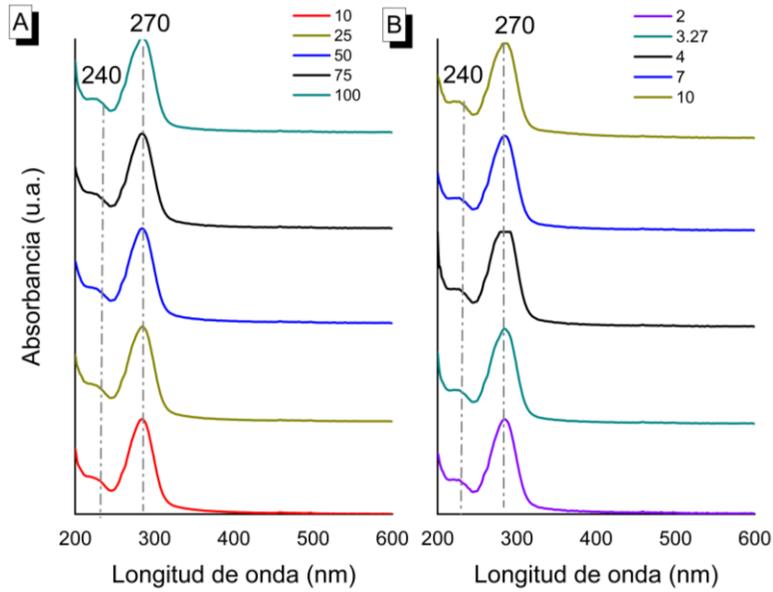
El cambio de tamaño se puede visualizar en el espectro de luminiscencia (**Figura 3.2**) donde en el espectro de las NpC se presenta una curva más ancha con diferentes máximos de emisión correspondientes a 503, 556 y 704 nm proporcionados por diferentes tamaños de partículas, [13] mientras que la curva de los PCC es más cerrada dando un solo máximo de emisión.



*Figura 3. 2. Espectro de emisión de los PCC y de las NpC.*

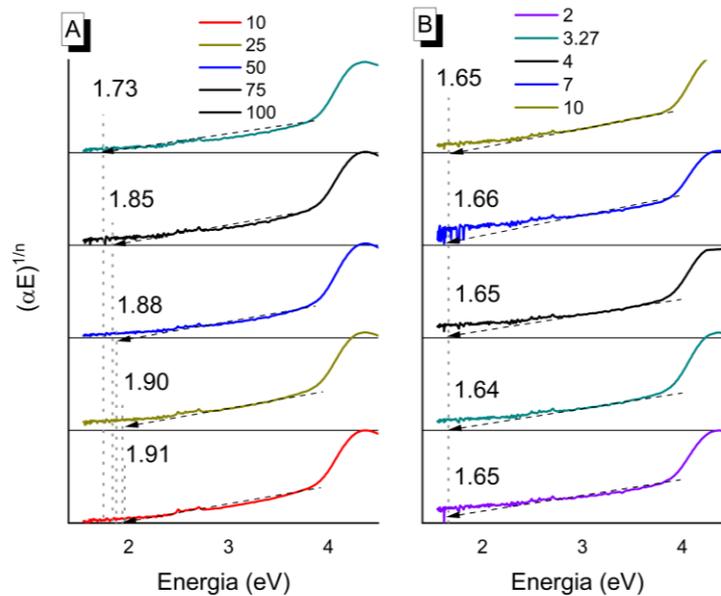
### 3.2 Propiedades de absorbanza y luminiscencia

Los PCC carbono presentan buenas propiedades de absorción dentro del rango ultravioleta, en los espectros obtenidos (**Figura 3.3**) se observa que todos son similares. Los PCC en solución presentan una absorción máxima característica a los 270 nm la cual se extiende hasta el rango visible, el cual es atribuido a la transición  $\pi - \pi^*$  de las bandas conjugadas  $C = C$  de carácter aromático y la banda de 240 nm corresponde a transiciones  $n - \pi^*$  de las bandas  $C = O$  [37, 39] provocados por los electrones no apareados del O.



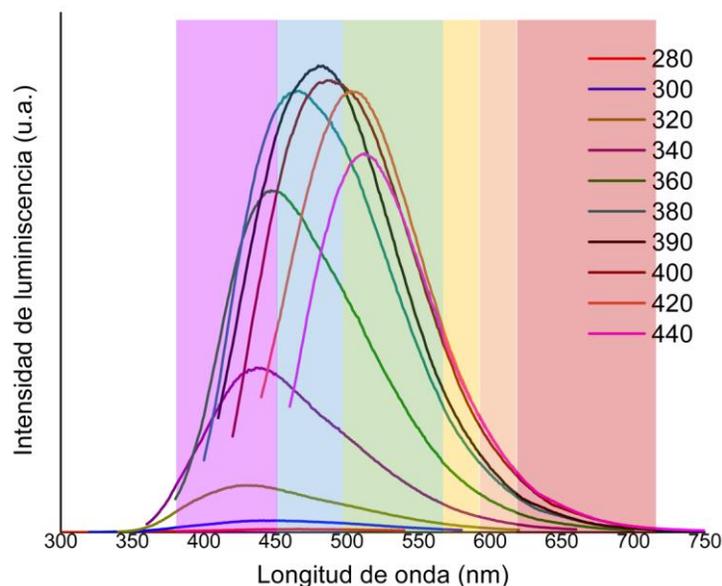
**Figura 3. 3.** Espectros de absorción UV-Vis a) PCC variando la concentración b) Variando el pH.

Utilizando los datos de absorción se determinó la energía de banda prohibida ( $E_{gap}$ ) de los PCC por medio de la pendiente de Tauc (**Figura 3.4**). La energía de banda prohibida este dado por la intersección de la pendiente con el eje x del gráfico dando una energía promedio de 1.70 eV. Dicha  $E_{gap}$  se encuentra dentro del rango característico de los materiales semiconductores (>3.0 eV).



**Figura 3. 4.** Diagrama de Tauc para el cálculo de la  $E_{gap}$ . a) PCC variando la concentración b) Variando el pH.

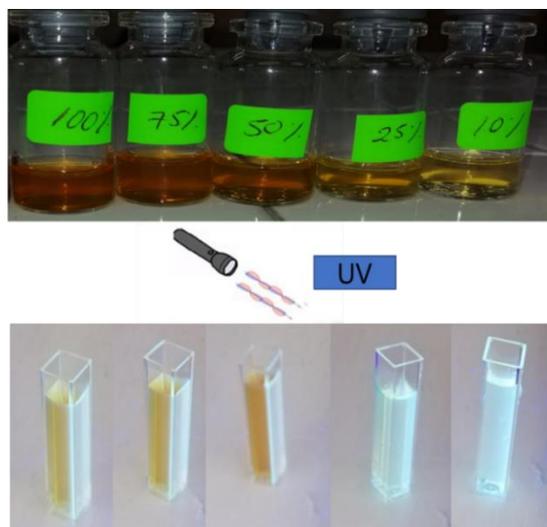
Los PCC sintetizados fueron excitados a diferentes longitudes de onda (**Figura 3.5**), ya que se ha reportado que la longitud de onda de emisión, así como la intensidad de fotoluminiscencia depende de la longitud de excitación. Donde si excitamos a longitudes de onda que van de los 280 a los 360 nm los puntos cuánticos tienen una emisión en color violeta, si se excitan de 280 a 400 nm la emisión es color azul-cian, mientras que los excitados de 420 a 440 presentan su emisión en un color verde.



**Figura 3. 5.** Espectro de emisión a diferentes longitudes de excitación.

### 3.2.1. Cambio de concentración

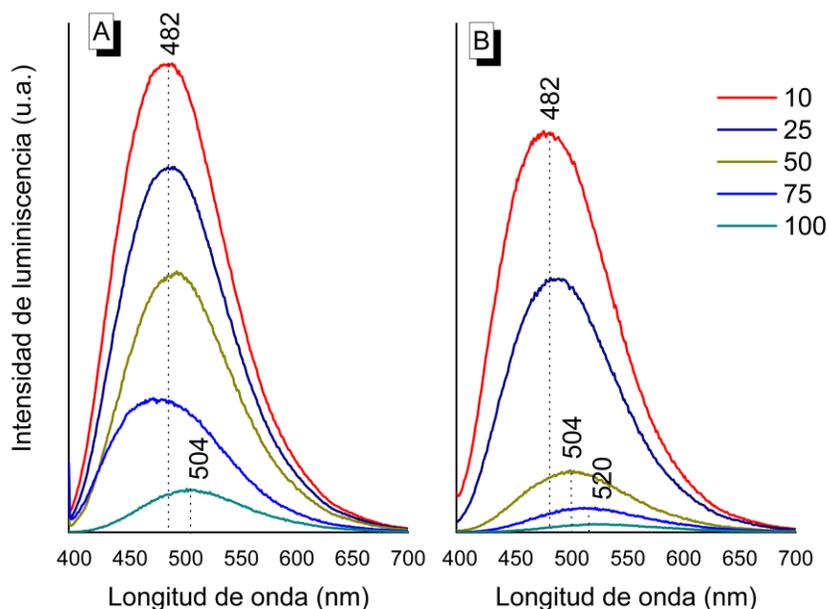
Los PCC obtenidos en solución acuosa presentan un color marrón al disminuir la concentración fueron tomando un tono amarillo, dichas coloraciones son características de los PCC, los cuales al ser expuestos a la luz de una lámpara ultravioleta con una longitud de onda de 365 nm, estos presentan una emisión de color verde (**Figura 3.6**) lo que comprueba la presencia de PCC [71].



*Figura 3. 6. a) PCC en solución acuosa bajo luz visible y luz UV.*

Para comprobar lo antes mencionado se realizó la caracterización de fotoluminiscencia, obteniendo espectros de luminiscencia. Donde la presencia de PCC recién sintetizados (**Figura 3.7a**) tienen su excitación máxima a una longitud de onda de 390 nm en la frontera del rango ultravioleta y una emisión máxima a los 482 nm que corresponde al espectro visible específicamente al color azul-cian y a los 504 nm emitiendo en un verde. Este desplazamiento en la longitud de onda de emisión se puede atribuir al cambio de tamaño en los PCC.

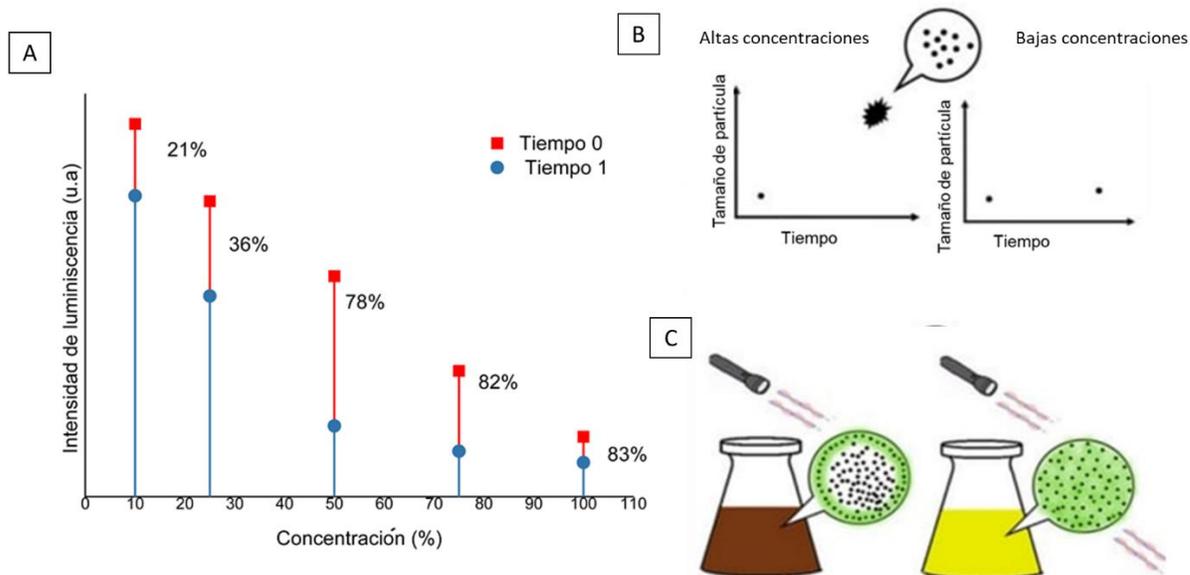
Después de 30 días se repitió la prueba de luminiscencia (**Figura 3.7b**). En los PCC de mayor concentración se puede observar sedimento de carbono por lo cual tienen un desplazamiento en el máximo de emisión de 16 nm y una disminución en la intensidad de luminiscencia.



**Figura 3. 7.** Espectros de emisión de los PCC a diferentes concentraciones, a) 0 días, b) 30 días.

Dicha disminución en el máximo de luminiscencia es más notoria en las partículas con mayor concentración perdiendo hasta 83% de esa intensidad, mientras que las partículas diluidas solo pierden un 28% (**Figura 3.8A**). Esta pérdida se debe al crecimiento de partícula como consecuencia de que a mayores concentraciones existen más interacciones entre partículas haciendo que estas aumenten su tamaño (**Figura 3.8B**), mientras que al variar la concentración en agua se reducen estas interacciones. Asimismo, la muestra de menor concentración continúa con su longitud de onda de emisión máxima.

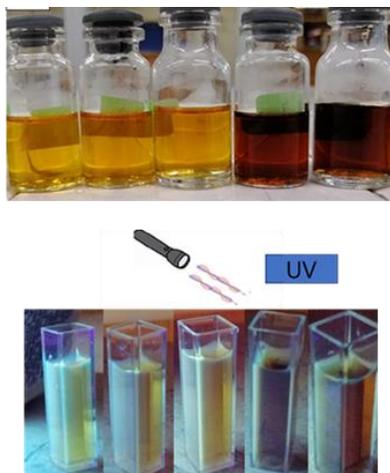
Se puede observar que mientras disminuye la concentración de PCC en solución mejoran las propiedades de luminiscencia, por lo que se propone (**Figura 3.8C**) que a mayor concentración de PCC, estos solo interactúan con la luz ultravioleta en la superficie impidiendo que las partículas del centro reciban radiación y por lo tanto disminuyan su emisión, por lo que a menor concentración la interacción de luz ultravioleta es más homogénea en toda la muestra, aumentando así su luminiscencia.



**Figura 3. 8.** A) Pérdida de luminiscencia en tiempo 0 y 30 días. B) Esquema de aumento de tamaño de los PCC con respecto al tiempo. C) Esquema del efecto de absorción y emisión al variar la concentración.

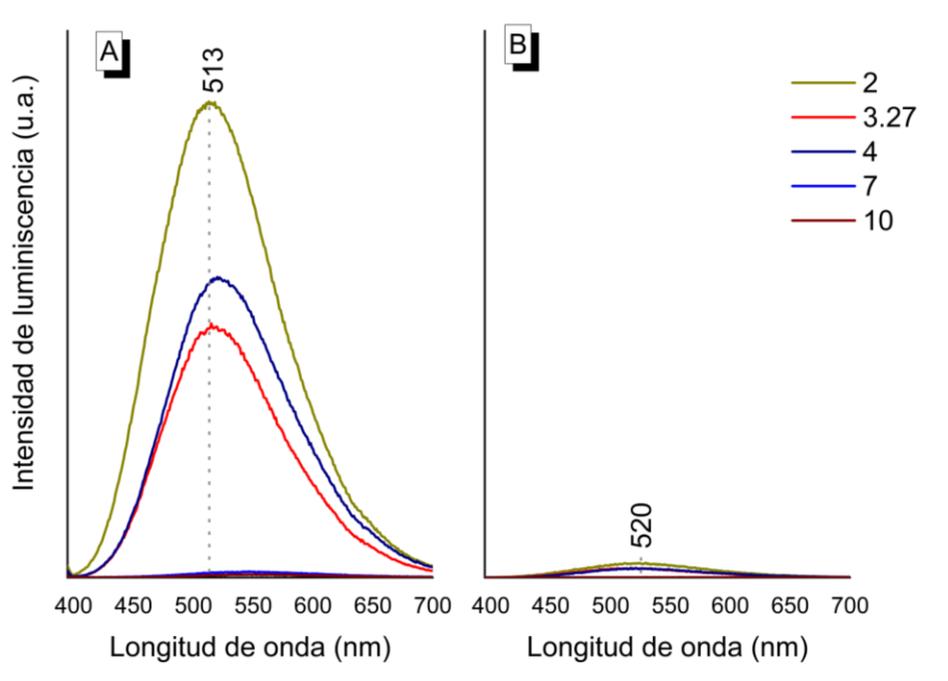
### 3.2.2 Variación de pH

Los PCC en solución acuosa previamente sintetizados tienen un pH de 3.27. Al variar el pH, cambió la coloración de un amarillo a un marrón; al pasar a pH alcalino y ser expuestos a luz ultravioleta presentan una emisión entre los colores azul-verde (**Figura 3.9**). A simple vista se puede observar que a pH más ácido presentan mejor luminiscencia, observado en la coloración ya que entre más clara sea la solución mayor luminiscencia presenta.



**Figura 3. 9.** PCC en solución acuosa bajo luz visible y luz UV.

Los espectros de luminiscencia obtenidos variando el pH presentan una excitación máxima a los 390 nm y un máximo de emisión (**Figura 3.10A**) a los 513 nm en todas las muestras, emitiendo en un rango visible característico del color verde. Después de 30 días se repitió la prueba de luminiscencia (**Figura 3.10B**). Donde en el máximo de emisión se presentó a los 520 nm, los PCC presentan un mínimo desplazamiento hacia el rojo y una disminución considerable en la intensidad de luminiscencia de hasta un 96%.

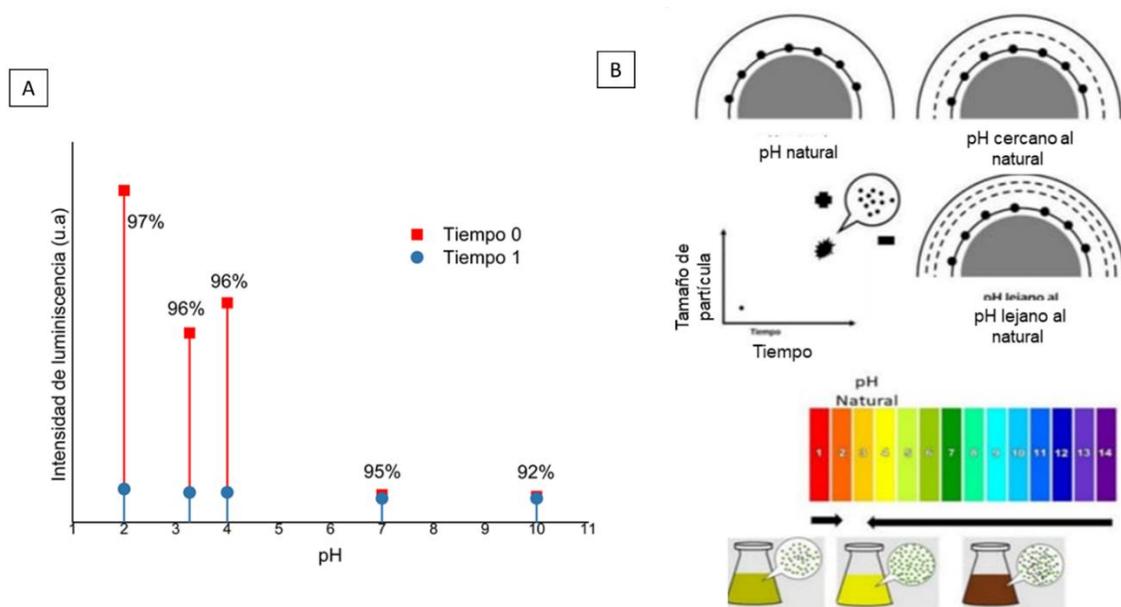


**Figura 3. 10.** Espectros de emisión de los PCC a diferente pH, a) 0 días, b) 30 días.

La disminución en la intensidad de luminiscencia se calculó comparando el antes y después de la intensidad de luminiscencia, observando que se pierde en su totalidad teniendo de 92 hasta un 96% (**Figura 3.11A**). El fenómeno de la pérdida de luminiscencia se le atribuye a la ionización en la superficie, fenómeno provocado por los grupos orgánicos presentes como  $\text{OH}^-$ , lo cual afectaría a las partículas teniendo más interacción electrón-hueco y estas tendrían más grados de libertad con el paso de electrones, perdiendo así su confinamiento cuántico.

El crecimiento de las partículas se debe a que existen más iones que pueden interactuar entre ellos haciendo que la partícula aumente su tamaño (**Figura 3.11B**).

La luminiscencia con respecto a la variación del pH es difícil de explicar, se le atribuyen la luminiscencia al efecto de las transiciones electrónicas en los dominios  $\pi$  y a efectos en la superficie como trampas energéticas. [10] Los PCC sintetizados tiene mejor respuesta a la luminiscencia en valores de pH ácidos, dando mayor intensidad a un valor de 2, ya que los PCC sufren una protonación en los grupos orgánicos de las moléculas, lo que podría causar un dopaje o una carga electrostática cambiando así el nivel de Fermi. [73] Mientras que en los PCC a pH fisiológicos y alcalinos, la intensidad de luminiscencia disminuye muy drásticamente, fenómeno que se le podría atribuir al rellenar y agotar las bandas de valencia [74] la eliminación o el aumento en las trampas energéticas por los grupos  $\text{OH}^-$ , provocando que los electrones no puedan ser excitados.



**Figura 3. 11.** A) Pérdida de luminiscencia en tiempo 0 y 30 días. B) Esquema del efecto del pH en la intensidad de luminiscencia.

El cálculo del rendimiento cuántico se llevó a cabo con los siguientes datos del blanco o referencia que fue el sulfato de quinina; rendimiento cuántico (QY) de 54%, teniendo un máximo de emisión ( $I$ ) de 7556410 u.a. la longitud de onda de absorbancia de excitación ( $A$ ) es de 360 nm y el índice de refracción ( $n$ ) del  $H_2SO_4$  es de 1.397; por parte de los PCC teniendo rendimientos cuánticos y máximos de emisión variables (**Tabla 3.1**), longitud de absorbancia de excitación de 390 nm y el índice de refracción del agua de 1.33.

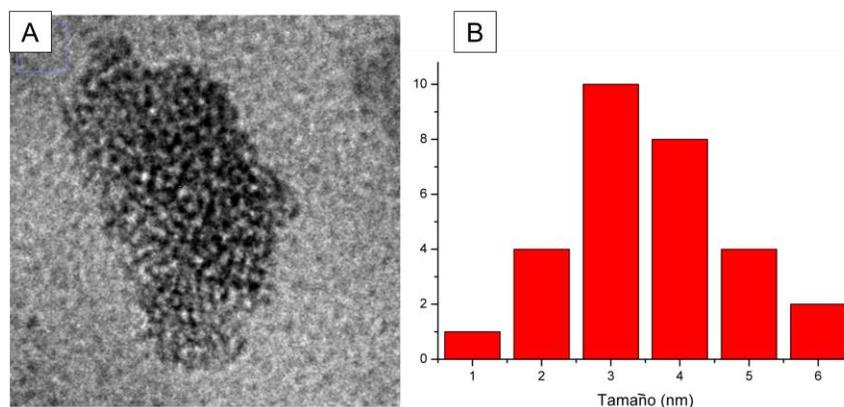
La relación en la disminución del rendimiento cuántico (QY), es debido a la baja en la intensidad de luminiscencia, por la poca cantidad de fotones emitidos. Al madurar los PCC estos aumentan de tamaño perdiendo el efecto de confinamiento cuántico provocando que pocos electrones brinquen de la banda de valencia a la banda de conducción evitando así la luminiscencia.

**Tabla 3. 1.** Máximos de intensidad de luminiscencia (I) y rendimientos cuánticos (QY) de los PCC obtenidos.

Variación de concentración					
	Dia 0		Dia 30		
Muestra	I	QY	I	QY	Perdida QY
10	598205	13.40 %	471330	10.56 %	21.21
25	466510	10.45 %	300100	6.72 %	35.67
50	328060	7.35 %	71140	1.59 %	78.31
75	167420	3.75 %	28450	0.64 %	83.01
100	55400	1.24 %	9230	0.21 %	83.34
Variación de pH					
	Dia 0		Dia 30		
Muestra	I	QY	I	QY	Diferencia (QY)
2	651060	14.58 %	20110	0.45 %	96.91
3.24	55400	1.24 %	9230	0.21 %	83.34
4	412410	9.24 %	11650	0.26 %	97.19
7	6900	0.15 %	190	0.004 %	97.41
10	4090	0.09 %	180	0.004 %	95.63

### 3.3 Composición y estructura

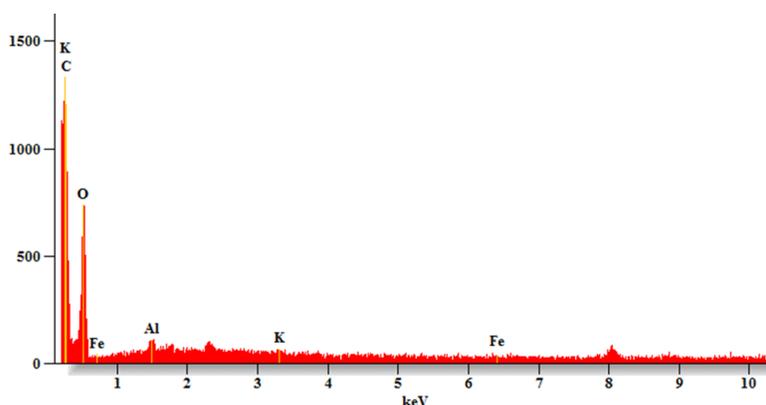
Los PCC presentan un tamaño promedio de 3 nm, confirmado por las micrografías de MET (**Figura 3.12a**). En las micrografías se observa que las nanopartículas obtenidas se presentan en forma de esferas con tamaños que van desde los 1.2 nm hasta 6.3 nm (**Figura 3.12b**).



**Figura 3. 12.** a) Micrografía de TEM de los PCC, b) distribución de tamaño de los PCC.

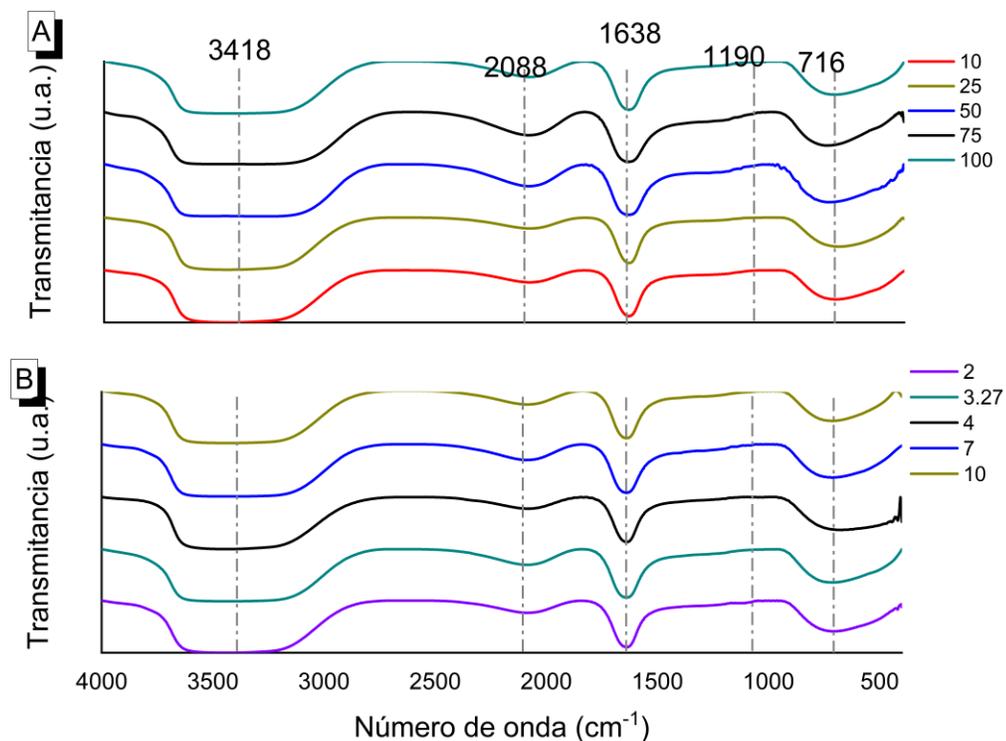
Para la caracterización química de los PCC, primeramente, se realizó la caracterización por espectroscopia fotoelectrónica de rayos X, obteniendo en el espectro (**Figura 3.13**) una composición heterogénea de carbono y oxígeno en su

mayoría y en mínimas proporciones algunos elementos químicos. Como promedio de las partículas analizadas se tienen concentraciones de 58.14% de carbono, 40.66% de oxígeno y 1.2 % de otros elementos químicos como hierro, potasio y aluminio. En comparación con otros PCC sintetizados estos tienen mayor concentración de minerales, esto se debe a que el fruto del kiwi es uno de los más completos y con mayor valor nutricional teniendo en su composición cantidades de elementos químicos.



**Figura 3. 13.** Espectro de dispersión fotoelectrónica de rayos X.

Los diferentes grupos funcionales y enlaces oxigenados en los PCC se obtuvieron mediante espectroscopia infrarroja (**Figura 3.14**), los PCC muestran bandas a los  $3442\text{ cm}^{-1}$  indicando la presencia de grupos  $OH^-$  en gran parte la vibración se le atribuye a que están en solución acuosa y otra a los iones presentes en la estructura y a los  $1640\text{ cm}^{-1}$  que corresponde a estiramientos de enlaces  $C = C$  dados por las hibridaciones  $sp^2$ , dichas bandas son características de los PCC. [11, 20] Por otra parte, también presentan bandas a los  $2100$ ,  $1400$  y  $670\text{ cm}^{-1}$  correspondientes a grupos nitrogenados ( $C - N$ ), grupos oxigenados ( $C - O$ ) y grupos  $OH^-$  con torsiones  $O^- - H^+$ .



**Figura 3. 14.** Espectro infrarrojo de los PCC A) Cambio de concentración B) Cambio de pH.

Los PCC obtenidos tienen mejores propiedades a bajas concentraciones, esto es debido a la poca cantidad de materia, existe mayor interacción para la formación [75] y emisión de los PCC. [13, 14] Ya que los máximos de intensidad presentan una curva creciente hasta un decaimiento provocado por un mínimo de materia nombrado como enfriamiento de la concentración, por ejemplo la guayaba con 0.63 mg/ml, pimienta 0.31 mg/ml, chícharo 0.08 mg/ml, espinaca 1.25 mg/ml [14], el trigo 0.05 mg/ml y el plátano 0.01 mg/ml. [13] Esta variación puede ser efecto de la composición del precursor, así como las condiciones de síntesis empleadas, haciendo que cambien su rendimiento cuántico y tamaño de partícula (**Tabla 3.2**).

**Tabla 3. 2.** Reportes sobre la variación de la concentración en los PCC.

Precursor	Preparación	Condiciones	Tamaño de partícula	Rendimiento cuántico	Principal Compuesto
<b>Trigo</b>	Jugo	T= 200 °C; t= 15 h	No reportado	No reportado	Almidón
<b>Chícharo</b>	Ninguno	T= 180 °C; t= 4 h	10 nm	No reportado	Vitamina C
<b>Plátano</b>	Ninguno	T= 150 °C; t= 4 h;	3 nm	8,95 %	Carbohidratos

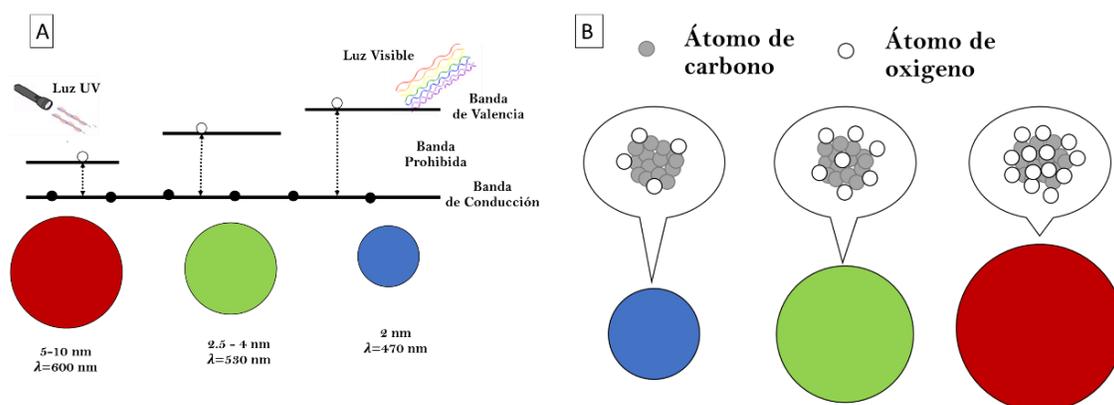
<b>Pimiento</b>	Ninguno	T= 180 °C; t= 4 h	10 nm	No reportado	Proteínas
<b>Guayaba</b>	Ninguno	T= 180 °C; t= 4 h	10 nm	No reportado	Cenizas
<b>Espinaca</b>	Ninguno	T= 180 °C; t= 4 h	10 nm	No reportado	Vitamina A
<b>Kiwi</b>	Jugo	T= 200 °C; t= 5 h;	3 nm	14.58 %	Carbohidratos

Los PCC sintetizados tiene mejor respuesta de intensidad de luminiscencia en pH más ácidos y baja estabilidad, mientras que en otras investigaciones presentan mejores propiedades a pH fisiológicos (cercanos al 7) teniendo estabilidad de hasta dos semanas, [32] esto hace referencia a que las transiciones electrónicas  $\pi - \pi^*$  y  $n - \pi^*$  que llenan o agotan las bandas de valencia [13] generando así mayor número de excitones, otros autores recomiendan que el pH de los PCC sea más alcalino debido al aumento de iones  $\text{OH}^-$  provocando una modificación de superficie [37] y otro más hacen referencia a que la intensidad de luminiscencia permanece constante o poco despreciable al cambio de pH. [34, 79] El fenómeno de luminiscencia en los PCC es muy variado ya que se obtienen diferentes valores de rendimiento cuántico, tamaño de partícula, esto es dependiente del precursor, las condiciones de síntesis y la forma de preparar el precursor previo al tratamiento hidrotermal (**Tabla 3.3**).

*Tabla 3. 3. Reportes en la variación del pH en la síntesis de PCC.*

Precursor	Preparación	Condiciones	Tamaño de partícula	Rendimiento cuántico	pH
<b>Cilantro</b>	Ninguno	T= 240 °C; t= 4 h; m= 5 g	2 nm	No reportado	12
<b>Pepino</b>	Jugo	T= 180 °C; t= 2 h	5 nm	7. 51 %	7
<b>Plátano</b>	Jugo	T= 150 °C; t= 4 h; V= 20 ml	3 nm	8,95 %	6-8
<b>Brócoli</b>	Jugo	T= 190 °C; t= 6 h; V= 25 ml	2-6 nm	No reportado	7
<b>Kiwi</b>	Jugo	T= 200 °C; t= 5 h; m= 10 g	3 nm	14.58 %	2-4

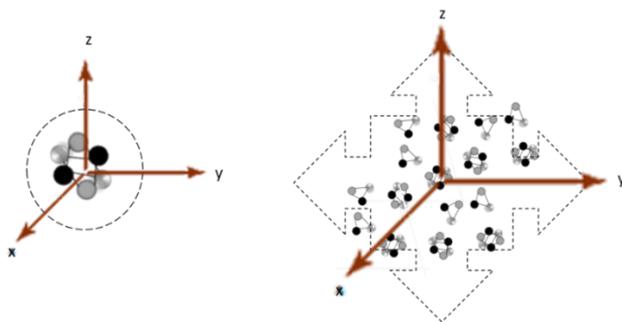
Los mecanismos de luminiscencia de los PCC son algo difíciles de explicar, proponiendo modelos de transiciones de bandas (**Figura 3.15A**) y defectos superficiales (**Figura 3.15B**). [75, 76] De acuerdo con lo obtenido en la investigación podemos describir que el efecto de la luminiscencia de los PCC a diferentes concentraciones sufre un proceso de transiciones de bandas, el cual se describe teniendo un tamaño de partícula y del dicho tamaño dependerá la emisión de la partícula. [77, 78] El efecto de la luminiscencia al cambio de pH tiene relación al modelo de emisión cuando existe un control de superficie ya que al agregar grupos OH<sup>-</sup> los cuales ayudan a mover la emisión de los PCC hacia el rojo. [81]



**Figura 3. 15.** Modelo de emisión de los PCC a) Efecto de transiciones de bandas, b) Efecto de la superficie.

La pérdida de luminiscencia se debe en gran parte al aumento del tamaño de partícula de los PCC, explicando dicho fenómeno que es consecuencia de las interacciones partícula-partícula, por cual, el tamaño del punto cuántico que se comporta como un material semiconductor va creciendo, formando partículas aglomeradas de carbono haciendo que pierda la propiedad característica de lo PCC el confinamiento cuántico y termine convirtiéndose en un material aislante sin la capacidad de emitir electrones. (**Figura 3.16**). La importancia de la investigación se centra en el crecimiento y pérdida de la intensidad de luminiscencia ya que son contados los autores que reportan la estabilidad refiriéndose a buena o excelente sin dar algún dato cuantitativo de esto. Los PCC obtenidos presentan una estabilidad excelente con una pérdida en la intensidad de luminiscencia considerable en 30 días a bajas concentraciones al diluirse en agua, ventaja que se

tiene para ser sintetizados a grandes escalas con poca materia prima y un tiempo de vida para almacenaje buscando futuras aplicaciones dentro de la biomedicina.



**Figura 3. 16.** Efecto del confinamiento cuántico relacionado a la estructura de bandas.

En los PCC obtenidos presentan un enfriamiento de la concentración de 0.01 mg/ml teniendo buena respuesta en la intensidad de luminiscencia y un alto rendimiento cuántico mayor al promedio reportado (12%), además de una estabilidad de partícula mayor a 30 días, es decir, no pierde sus propiedades de confinamiento cuántico. El bajo enfriamiento de la concentración podría deberse al principal componente del precursor que son los hidratos de carbono, así como la preparación del precursor, ya que estos favorecen a la formación de partícula teniendo menores tamaños (3 nm), alta intensidad de luminiscencia y rendimiento cuántico.

Por otra parte, los PCC a diferente pH presentan mucha inestabilidad teniendo un tiempo de crecimiento corto y un aumento considerable en la intensidad de luminiscencia y en el rendimiento cuántico de 1% al modificar el pH a valores cercanos al pH natural (3.27). En comparación, los PCC reportado por otros autores presentan mejores condiciones al modificar el pH con bases y ácidos como el NaOH, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> o HCl buscando pH fisiológicos, teniendo limitantes para la introducción al cuerpo humano. El kiwi como precursor presenta un pH ácido con un valor de 3, el cual podría ayudar a la formación de los PCC y mejorara sus propiedades de luminiscencia, así como el rendimiento cuántico mayor a 14% ya otros precursores como el plátano, pepino y brócoli tiene pH fisiológicos y rendimientos cuánticos menores al 8%.

## Conclusiones

De acuerdo con los objetivos planteados en la presente tesis, se han sintetizado, caracterizando PCC, así como evaluado la propiedad de luminiscencia llegando a las siguientes conclusiones:

- Se obtuvieron PCC variando la concentración y el pH, obteniendo partículas estables a bajas concentraciones perdiendo solo un 21 % de su intensidad en el máximo de luminiscencia después de un tiempo transcurrido, 30 días, algunos autores reportan un máximo de estabilidad de 2 semanas. Mientras que los PCC a altas concentraciones y a pH alcalinos tienden a perder su intensidad en corto tiempo esto se debe a las interacciones partícula-partícula que hacen que aumenten de tamaño. Por lo cual el agua como medio soluble tiene un papel importante en la estabilidad de los PCC, mientras que el cambio de pH no ayuda, sino afecta la estabilidad haciendo que el crecimiento de la partícula sea más rápido. Los PCC sintetizados alcanzan un rendimiento cuántico del 14.58 %, lo cual es excelente ya que está por encima del promedio, 12% reportado por diferentes autores.
- Los PCC pueden presentar emisión a diferentes longitudes de onda dependiendo de la longitud de onda de excitación, lo cual permite inferir su aplicación en la biomedicina. Por otro lado, el tamaño de los PCC es de  $\pm 3.0$  nm con formas esféricas y una composición mayoritaria de carbono y oxígeno, al igual que algunas moléculas orgánicas que ayudarán a la modificación de superficie para futuras aplicaciones. Los PCC son partículas semiconductoras ya que su ancho de banda ronda en los 1.64 eV.
- Como perspectiva a futuro se plantean diferentes investigaciones que permitan modificar la superficie de los PCC, buscando así mejorar la estabilidad y el rendimiento cuántico, abriendo nuevos campos de aplicaciones como sensor químico, fotocatalizador o agente de contraste como biomarcador.

## Referencias

- [1] W. D. J. Calliester, "Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales," *Univ. Utah*.
- [2] Y. Mejias Sánchez, N. Cabrera Cruz, A. M. Toledo Fernández, and O. J. Duany Machado, "La nanotecnología y sus posibilidades de aplicación en el campo científico-tecnológico," *Rev. Cuba. Salud Publica*, vol. 35, no. 3, pp. 1–9, 2009, doi: 10.1590/S0864-34662009000300006.
- [3] C. E. W. Gutiérrez, "Las NANOPARTÍCULAS : pequeñas estructuras con gran potencial ¿Por qué el interés en estos materiales? ¿Qué aplicaciones tienen?," *Contacto Nucl.*, pp. 24–29, 2005, [Online]. Available: [http://www.inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/39\\_NANOPARTICULAS.pdf](http://www.inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/39_NANOPARTICULAS.pdf).
- [4] M. Quintili, "Nanociencia y Nanotecnología... un mundo pequeño," *Cuaderno*, vol. 42, pp. 125–155, 2012, [Online]. Available: <http://www.scielo.org.ar/pdf/ccedce/n42/n42a10.pdf>.
- [5] J. L. Movilla Rosell, "Confinamiento nanoscópico en estructuras semiconductoras cero-dimensionales," p. 342, 2007.
- [6] L. Cornejo, "Clasificación nano materiales," *Nuevas tecnologías y materiales*, 2015. <http://nuevatecnologiasymateriales.com/clasificacion-de-los-nano-materiales/> (accessed Jul. 10, 2018).
- [7] R. Zanella, "Editor's Note:," *Conserv. Biol.*, vol. 19, no. 6, pp. 2039–2039, 2005, doi: 10.1111/j.1523-1739.2005.00323\_1.x.
- [8] E. C. Anota, "Análisis por simulación molecular de las propiedades electrónicas de la hoja de SnC hexagonal," vol. 24, no. 1, pp. 9–13, 2011.
- [9] M. F. Torresan, C. I. Vázquez, M. V Benavente Llorente, A. M. Baruzzi, and R. A. Iglesias, "Metodologías para la obtención de puntos cuánticos de cristales semiconductores de CdSe," *Bitácora Digit. la Fac. Ciencias Químicas, UNC*, pp. 1–5, 2014.
- [10] S. Y. Lim, W. Shen, and Z. Gao, "Carbon quantum dots and their applications," *Chem. Soc. Rev.*, vol. 44, no. 1, pp. 362–381, 2015, doi: 10.1039/c4cs00269e.
- [11] A. M. Alam, B. Y. Park, Z. K. Ghouri, M. Park, and H. Y. Kim, "Synthesis of carbon quantum dots from cabbage with down- and up-conversion photoluminescence properties: Excellent imaging agent for biomedical applications," *Green Chem.*, vol. 17, no. 7, pp. 3791–3797, 2015, doi: 10.1039/c5gc00686d.
- [12] Y. Wang and A. Hu, "Carbon quantum dots: Synthesis, properties and applications," *J. Mater. Chem. C*, vol. 2, no. 34, pp. 6921–6939, 2014, doi: 10.1039/c4tc00988f.
- [13] B. De and N. Karak, "A green and facile approach for the synthesis of water soluble fluorescent carbon dots from banana juice," *RSC Adv.*, vol. 3, no. 22, pp. 8286–8290, 2013, doi: 10.1039/c3ra00088e.
- [14] J. Wang, Y. H. Ng, Y.-F. Lim, and G. W. Ho, "Vegetable-extracted carbon dots and their nanocomposites for enhanced photocatalytic H<sub>2</sub> production," *RSC Adv.*, vol. 4, no. 83, pp. 44117–44123, 2014, doi: 10.1039/C4RA07290A.
- [15] H. Ding, Y. Ji, J. S. Wei, Q. Y. Gao, Z. Y. Zhou, and H. M. Xiong, "Facile synthesis

- of red-emitting carbon dots from pulp-free lemon juice for bioimaging,” *J. Mater. Chem. B*, vol. 5, no. 26, pp. 5272–5277, 2017, doi: 10.1039/c7tb01130j.
- [16] M. Xue, Z. Zhan, M. Zou, L. Zhang, and S. Zhao, “Green synthesis of stable and biocompatible fluorescent carbon dots from peanut shells for multicolor living cell imaging,” *New J. Chem.*, vol. 40, no. 2, pp. 1698–1703, 2016, doi: 10.1039/c5nj02181b.
- [17] X. Niu, G. Liu, L. Li, Z. Fu, H. Xu, and F. Cui, “Green and economical synthesis of nitrogen-doped carbon dots from vegetables for sensing and imaging applications,” *RSC Adv.*, vol. 5, no. 115, pp. 95223–95229, 2015, doi: 10.1039/C5RA17439B.
- [18] V. N. Mehta, S. Jha, R. K. Singhal, and S. K. Kailasa, “Preparation of multicolor emitting carbon dots for HeLa cell imaging,” *New J. Chem.*, vol. 38, no. 12, pp. 6152–6160, 2014, doi: 10.1039/c4nj00840e.
- [19] S. Zhao *et al.*, “Green Synthesis of Bifunctional Fluorescent Carbon Dots from Garlic for Cellular Imaging and Free Radical Scavenging,” *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol. 7, no. 31, pp. 17054–17060, 2015, doi: 10.1021/acsami.5b03228.
- [20] M. Asha Jhonsi and S. Thulasi, “A novel fluorescent carbon dots derived from tamarind,” *Chem. Phys. Lett.*, vol. 661, pp. 179–184, 2016, doi: 10.1016/j.cplett.2016.08.081.
- [21] Nexdot, “Historia de los puntos cuánticos.” <https://nexdot.fr/en/history-of-quantum-dots/> (accessed Jun. 11, 2019).
- [22] A. Rogach, “Quantum Dots Still Shining Strong 30 Years On,” *ACS Nano*, vol. 8, no. 7, pp. 6511–6512, 2014, doi: 10.1021/nn5036922.
- [23] L. Brus, “Electronic wave functions in semiconductor clusters: Experiment and theory,” *J. Phys. Chem.*, vol. 90, no. 12, pp. 2555–2560, 1986, doi: 10.1021/j100403a003.
- [24] X. Xu *et al.*, “Electrophoretic analysis and purification of fluorescent single-walled carbon nanotube fragments,” *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 126, no. 40, pp. 12736–12737, 2004, doi: 10.1021/ja040082h.
- [25] Y. P. Sun *et al.*, “Quantum-sized carbon dots for bright and colorful photoluminescence,” *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 128, no. 24, pp. 7756–7757, 2006, doi: 10.1021/ja062677d.
- [26] D. Pan, J. Zhang, Z. Li, and M. Wu, “Hydrothermal route for cutting graphene sheets into blue-luminescent graphene quantum dots,” *Adv. Mater.*, vol. 22, no. 6, pp. 734–738, 2010, doi: 10.1002/adma.200902825.
- [27] Y. Guo, Z. Wang, H. Shao, and X. Jiang, “Hydrothermal synthesis of highly fluorescent carbon nanoparticles from sodium citrate and their use for the detection of mercury ions,” *Carbon N. Y.*, vol. 52, pp. 583–589, 2013, doi: 10.1016/j.carbon.2012.10.028.
- [28] S. Sahu, B. Behera, T. K. Maiti, and S. Mohapatra, “Simple one-step synthesis of highly luminescent carbon dots from orange juice: Application as excellent bio-imaging agents,” *Chem. Commun.*, vol. 48, no. 70, pp. 8835–8837, 2012, doi: 10.1039/c2cc33796g.

- [29] A. Prasannan and T. Imae, "One-pot synthesis of fluorescent carbon dots from orange waste peels," *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 52, no. 44, pp. 15673–15678, 2013, doi: 10.1021/ie402421s.
- [30] A. L. Himaja, P. S. Karthik, B. Sreedhar, and S. P. Singh, "Synthesis of carbon dots from kitchen waste: Conversion of waste to value added product," *J. Fluoresc.*, vol. 24, no. 6, pp. 1767–1773, 2014, doi: 10.1007/s10895-014-1465-1.
- [31] V. N. Mehta, S. Jha, H. Basu, R. K. Singhal, and S. K. Kailasa, "One-step hydrothermal approach to fabricate carbon dots from apple juice for imaging of mycobacterium and fungal cells," *Sensors Actuators, B Chem.*, vol. 213, pp. 434–443, 2015, doi: 10.1016/j.snb.2015.02.104.
- [32] N. Arumugam and J. Kim, "Synthesis of carbon quantum dots from Broccoli and their ability to detect silver ions," *Mater. Lett.*, vol. 219, pp. 37–40, 2018, doi: 10.1016/j.matlet.2018.02.043.
- [33] S. Ahmadian-Fard-Fini, M. Salavati-Niasari, and D. Ghanbari, "Hydrothermal green synthesis of magnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-carbon dots by lemon and grape fruit extracts and as a photoluminescence sensor for detecting of E. coli bacteria," *Spectrochim. Acta - Part A Mol. Biomol. Spectrosc.*, vol. 203, pp. 481–493, 2018, doi: 10.1016/j.saa.2018.06.021.
- [34] X. Feng *et al.*, "Easy synthesis of photoluminescent N-doped carbon dots from winter melon for bio-imaging," *RSC Adv.*, vol. 5, no. 40, pp. 31250–31254, 2015, doi: 10.1039/c5ra02271a.
- [35] F. Du *et al.*, "Economical and green synthesis of bagasse-derived fluorescent carbon dots for biomedical applications," *Nanotechnology*, vol. 25, no. 31, 2014, doi: 10.1088/0957-4484/25/31/315702.
- [36] N. Wang, Y. Wang, T. Guo, T. Yang, M. Chen, and J. Wang, "Green preparation of carbon dots with papaya as carbon source for effective fluorescent sensing of Iron (III) and Escherichia coli," *Biosens. Bioelectron.*, vol. 85, pp. 68–75, 2016, doi: 10.1016/j.bios.2016.04.089.
- [37] A. Sachdev and P. Gopinath, "Green synthesis of multifunctional carbon dots from coriander leaves and their potential application as antioxidants, sensors and bioimaging agents," *Analyst*, vol. 140, no. 12, pp. 4260–4269, 2015, doi: 10.1039/c5an00454c.
- [38] V. N. Mehta, S. Jha, and S. K. Kailasa, "One-pot green synthesis of carbon dots by using Saccharum officinarum juice for fluorescent imaging of bacteria (Escherichia coli) and yeast (Saccharomyces cerevisiae) cells," *Mater. Sci. Eng. C*, vol. 38, no. 1, pp. 20–27, 2014, doi: 10.1016/j.msec.2014.01.038.
- [39] J. R. Bhamore, S. Jha, R. K. Singhal, T. J. Park, and S. K. Kailasa, "Facile green synthesis of carbon dots from Pyrus pyrifolia fruit for assaying of Al<sup>3+</sup>-ion via chelation enhanced fluorescence mechanism," *J. Mol. Liq.*, vol. 264, no. 2017, pp. 9–16, 2018, doi: 10.1016/j.molliq.2018.05.041.
- [40] C. Mijanos and J. S. Moya, *Nuevos materiales en la sociedad del siglo XXI*. Madrid, 2007.
- [41] M. Gómez-Garzón, "Nanomateriales, Nanopartículas y Síntesis verde," *Rev.*

*Repert. Med. y Cirugía*, vol. 27, no. 2, pp. 75–80, 2018, doi: 10.31260/repertmedcir.v27.n2.2018.191.

- [42] J. Á. (coord) Martín Gago, *Nanotecnología y Nanotecnología*. 2009.
- [43] D. El and D. Pertenece, “Materiales avanzados y nanotecnología, herramientas para la nanofabricación,” pp. 1–12, [Online]. Available: [http://frq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/5912/mod\\_resource/content/1/Herramientas para la nanofabricación - 2016.pdf](http://frq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/5912/mod_resource/content/1/Herramientas%20para%20la%20nanofabricaci%C3%B3n%20-%202016.pdf).
- [44] G. A. Silva, “Introduction to nanotechnology and its applications to medicine,” *Surg. Neurol.*, vol. 61, no. 3, pp. 216–220, 2004, doi: 10.1016/j.surneu.2003.09.036.
- [45] B. Qi, G. Zhang, Z. Zhang, D. Pang, and Á. M. Á. Density, *Carbon Nanoparticles and Nanostructures*. 2016.
- [46] F. Group, *Carbon Nanomaterials*. 2006.
- [47] A. A. Lucas, P. H. Lambin, and R. E. Smalley, “On the energetics of tubular fullerenes,” *J. Phys. Chem. Solids*, vol. 54, no. 5, pp. 587–593, 1993, doi: 10.1016/0022-3697(93)90237-L.
- [48] E. sistema Periódico, “Fulleneros: moléculas de carbono con propiedades excepcionales.” .
- [49] A. B. C and A. M. C, “Revista de Química. Vol.. VIII. Nº,” pp. 29–35, 1994.
- [50] M. J.O’Connell, *Carbon Nanotubes Properties and Applications*. 2009.
- [51] C. Rodríguez González and O. Vasilievna Kharissova, “Propiedades y aplicaciones del grafeno,” *Ingenierías*, vol. 11, no. 38, p. 2, 2008.
- [52] M. G. Méndez Medrano, “Grafeno: el alótropo más prometedor del carbono,” *Acta Univ.*, vol. 22, pp. 20–23, 2012.
- [53] E. Martínez-Guerra, M. E. Cifuentes-Quintal, and R. De Coss, “Grafeno un paso hacia el futuro,” *Mundo Nano. Rev. Interdiscip. en Nanociencia y Nanotecnología*, vol. 2, no. 1, pp. 15–23, 2015, doi: 10.22201/ceiich.24485691e.2009.1.53571.
- [54] B. O. Dabbousi *et al.*, “(CdSe)ZnS Core–Shell Quantum Dots: Synthesis and Characterization of a Size Series of Highly Luminescent Nanocrystallites,” *J. Phys. Chem. B*, vol. 101, no. 46, pp. 9463–9475, 1997, doi: 10.1021/jp971091y.
- [55] A. I. S. Solís, “Síntesis y caracterización de puntos cuánticos de CdSe con aplicaciones en celdas fotovoltaicas con configuración FTO/TiO<sub>2</sub>/CdSe/ZnS,” p. 69, 2014.
- [56] D. J. Norris and M. G. Bawendi, “Measurement and assignment of the size-dependent optical spectrum in CdSe quantum dots,” vol. 53, no. 24, pp. 338–346, 1995, [Online]. Available: [http://www.cvs.gov.co/jupgrade/images/stories/docs/varios/MT-LAB-CVS\\_04\\_Toma\\_de\\_muestras\\_V4.pdf](http://www.cvs.gov.co/jupgrade/images/stories/docs/varios/MT-LAB-CVS_04_Toma_de_muestras_V4.pdf).
- [57] C. B. Murray, C. R. Kagan, and M. G. Bawendi, “Synthesis and characterization of monodisperse nanocrystals and close-packed nanocrystal assemblies,” *Int. J. Adv. Eng. Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 668–676, 2000.

- [58] M. A. Reed, J. N. Randall, R. J. Aggarwal, R. J. Matyi, T. M. More, and A. E. Wetsel, "Observation of Discrete Electronic States in a Zero-Dimensional Semiconductor Nanostructure," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 60, no. 12, pp. 28–30, 1988.
- [59] Y. Zheng *et al.*, "A facile approach for the synthesis of highly luminescent carbon dots using vitamin-based small organic molecules with benzene ring structures as precursors," *RSC Adv.*, 2015, doi: 10.1039/C5RA14720D.
- [60] R. Zhang and Y. L. S. Sun, "Preparation of highly luminescent and biocompatible carbon dots using a new extraction method," 2013, doi: 10.1007/s11051-013-2010-x.
- [61] Z. Wang *et al.*, "Facile construction of carbon dots via acid catalytic hydrothermal method and their application for target imaging of cancer cells," pp. 1–10, 2016, doi: 10.1007/s12274-016-0992-2.
- [62] F. A. Esteve-Turrillas and A. Abad-Fuentes, "Applications of quantum dots as probes in immunosensing of small-sized analytes," *Biosens. Bioelectron.*, vol. 41, no. 1, pp. 12–29, 2013, doi: 10.1016/j.bios.2012.09.025.
- [63] X. T. Zheng, A. Ananthanarayanan, K. Q. Luo, and P. Chen, "Glowing graphene quantum dots and carbon dots: Properties, syntheses, and biological applications," *Small*, vol. 11, no. 14, pp. 1620–1636, 2015, doi: 10.1002/sml.201402648.
- [64] J. Zhang and S. H. Yu, "Carbon dots: large-scale synthesis, sensing and bioimaging," *Mater. Today*, vol. 19, no. 7, pp. 382–393, 2016, doi: 10.1016/j.mattod.2015.11.008.
- [65] C. S. S. R. (Challa S. S. R. . Kumar, *Nanomaterials for biosensors*. Wiley-VCH, 2007.
- [66] V. P. Barros and V. G. Villaescusa, "Puntos cuánticos: nueva aportación de la nanotecnología en investigación y medicina," *Rev. Complut. Ciencias Vet.*, vol. 5, no. 1, pp. 69–102, 2011, doi: -.
- [67] L. Wang and H. S. Zhou, "Green synthesis of luminescent nitrogen-doped carbon dots from milk and its imaging application," *Anal. Chem.*, vol. 86, no. 18, pp. 8902–8905, 2014, doi: 10.1021/ac502646x.
- [68] Z. Guo and L. Tan, *Fundamentals and applications of nanomaterials*. Artech House, 2009.
- [69] R. Jelinek, *Carbon Quantum Dots Synthesis, Properties and Applications*. 2016.
- [70] T. Matua, "Kiwi fruit," pp. 269–270, 1960.
- [71] H. Huang, Y. Xu, C.-J. Tang, J.-R. Chen, A.-J. Wang, and J.-J. Feng, "Facile and green synthesis of photoluminescent carbon nanoparticles for cellular imaging," *New J. Chem.*, vol. 38, no. 2, p. 784, 2014, doi: 10.1039/c3nj01185b.
- [72] Z. L. Wu *et al.*, "One-pot hydrothermal synthesis of highly luminescent nitrogen-doped amphoteric carbon dots for bioimaging from bombyx mori silk – natural proteins," no. 207890, 2017, doi: 10.1039/C7TB00052A.
- [73] W. Zhao, C. Song, and P. E. Pehrsson, "Water-soluble and optically pH-sensitive single-walled carbon nanotubes from surface modification," *J. Am. Chem. Soc.*, vol.

124, no. 42, pp. 12418–12419, 2002, doi: 10.1021/ja027861n.

- [74] X. Jia, J. Li, and E. Wang, “One-pot green synthesis of optically pH-sensitive carbon dots with upconversion luminescence,” *Nanoscale*, vol. 4, no. 18, pp. 5572–5575, 2012, doi: 10.1039/c2nr31319g.
- [75] C. A. Zamora-Valencia, M. I. Reyes-Valderrama, A. J. Herrera-Carbajal, E. Salinas-Rodriguez, and V. Rodriguez-Lugo, “Evaluación de la luminiscencia de puntos cuánticos de carbono sintetizados mediante el método hidrotermal a partir de triticum,” vol. 7, pp. 19–22, 2019.
- [76] R. Bandi, B. R. Gangapuram, R. Dadigala, R. Eslavath, S. S. Singh, and V. Guttena, “Facile and green synthesis of fluorescent carbon dots from onion waste and their potential applications as sensor and multicolour imaging agents,” *RSC Adv.*, vol. 6, no. 34, pp. 28633–28639, 2016, doi: 10.1039/c6ra01669c.
- [77] Z. Gan, H. Xu, and Y. Hao, “Mechanism for excitation-dependent photoluminescence from graphene quantum dots and other graphene oxide derivatives: Consensus, debates and challenges,” *Nanoscale*, vol. 8, no. 15, pp. 7794–7807, 2016, doi: 10.1039/c6nr00605a.
- [78] H. Ding, S. B. Yu, J. S. Wei, and H. M. Xiong, “Full-color light-emitting carbon dots with a surface-state-controlled luminescence mechanism,” *ACS Nano*, vol. 10, no. 1, pp. 484–491, 2016, doi: 10.1021/acsnano.5b05406.
- [79] S. Zhu *et al.*, “Surface chemistry routes to modulate the photoluminescence of graphene quantum dots: From fluorescence mechanism to up-conversion bioimaging applications,” *Adv. Funct. Mater.*, vol. 22, no. 22, pp. 4732–4740, 2012, doi: 10.1002/adfm.201201499.
- [80] L. Wang *et al.*, “Common origin of green luminescence in carbon nanodots and graphene quantum dots,” *ACS Nano*, vol. 8, no. 3, pp. 2541–2547, 2014, doi: 10.1021/nn500368m.
- [81] L. Bao *et al.*, “Electrochemical tuning of luminescent carbon nanodots: From preparation to luminescence mechanism,” *Adv. Mater.*, vol. 23, no. 48, pp. 5801–5806, 2011, doi: 10.1002/adma.201102866.

## Productos

### Artículos

Artículo publicado en el boletín científico de Ciencias Básicas e Ingeniería del ICBI.  
*“Evaluación de la luminiscencia de puntos cuánticos de carbono sintetizados mediante el método hidrotermal a partir de Triticum”*



<https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/ictbi/issue/archive>  
Pádi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI  
Publicación Semestral Pádi Vol. 7 Núm. Especial 2 (2019)19-22

Pádi

ISSN: 2007-6363

Evaluación de la luminiscencia de puntos cuánticos de carbono sintetizados mediante el método hidrotermal a partir de triticum

Evaluation of the luminescence of carbon quantum dots synthesized through the hydrothermal method from triticum

C.A. Zamora-Valencia<sup>1</sup>, Ma. I. Reyes-Valderrama<sup>2</sup>, A. J. Herrera-Carbajal<sup>2</sup>, E. Salinas-Rodríguez<sup>2</sup>, V. Rodríguez-Lugo<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Pachuca, Hidalgo, México.

Volumen 7 - No. Especial 2 - 2019

Semestral

ISSN: 2007-6363



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo



### Reportes técnicos dirigidos

Codirector

Universidad Tecnológica de Tecámac (UTTEC). Para obtener el grado de TSU en Nanotecnología, área materiales. Agosto 2020. **Elías Agustín Rodríguez**.  
*“Evaluación de la luminiscencia en el efecto de control de superficie de los puntos cuánticos de carbono”*.



Universidad Tecnológica de Tecámac (UTTEC). Para obtener el grado de Ingeniero en Nanotecnología. Agosto 2020. **Mario Alberto Pérez Loredo**. “Evaluación de las propiedades ópticas y magnéticas de nanopartículas C-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> sintetizadas por el método hidrotermal”.



## Participación en Congresos Nacionales e Internacionales

Modalidad de póster

V Simposio de investigación en Ciencias de los Materiales del Capitulo Estudiantil UAEH-SMM; 22 Marzo 2019; Mineral de la Reforma, Hidalgo. “Estudio de puntos cuánticos de carbono obtenidos mediante tratamiento hidrotermal a partir de trigo (*Triticum*)”



Otorgan el presente

## Reconocimiento

A: **Carlos Alfredo Zamora Valencia, M. I. Reyes-Valderrama, A. J. Herrera-Carbajal, E. Cerecedo-Sáenz, E. Salinas-Rodríguez, V. Rodríguez-Lugo**

Por la presentación del trabajo "ESTUDIO DE PUNTOS CUÁNTICOS DE CARBONO OBTENIDOS MEDIANTE TRATAMIENTO HIDROTHERMAL PARTIR DE TRIGO (TRITICUM)", en el marco de las actividades del V Simposio de Investigación en Ciencias de los Materiales del Capítulo Estudiantil UAEH-SMM, efectuado el día 20 de marzo de 2019 en el auditorio del Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales.

Mineral de la Reforma, Hgo., a 20 de marzo de 2019.

I. Q. **Ingrid Gpe. Meza Pardo**

Presidenta del Capítulo Estudiantil UAEH-SMM

Atentamente

**Dr. Heberto Balmori Ramírez**

Presidente de la Sociedad Mexicana de Materiales

XVI encuentro "Participación de la Mujer en la Ciencia"; 29-31 Mayo 2019; León, Guanajuato. "Optimización en la ruta de síntesis de puntos cuánticos de carbono mediante tratamiento hidrotermal a partir de Trigo (*Triticum*)"

XVI encuentro  
Participación de la  
**Mujer**  
en la  
**Ciencia**  
29-31 MAYO 2019 León, Guanajuato

CENTRO DE INVESTIGACIONES EN ÓPTICA, A.C.

Otorga el presente  
*Reconocimiento*  
por su valiosa participación a:

**Carlos Alfredo Zamora Valencia, Maria Isabel Reyes Valderrama, Alejandro de Jesus Herrera Carbajal, Eleazar Salinas Rodriguez y Ventura Rodriguez Lugo**

Por el trabajo:  
**Optimización en la ruta de síntesis de puntos cuánticos de carbono mediante tratamiento hidrotermal a partir de Trigo (*Triticum*)**

**Amalia Martínez García**  
Representante del Comité Organizador

**Rafael Espinosa Luna**  
Director General del CIO

**Ángela Ruiz Robles**  
Directora ejecutiva

XXVIII International Materials Research Congress; 18-23 Agosto 2019; Cancún, Quintana Roo. "Study of the luminescence of carbon quantum dots by hydrothermal treatment from wheat (*Triticum*)"



Tercer Seminario Regional de Materiales Avanzados; 8-11 Octubre 2019, Mineral de la Reforma, Hidalgo. *“Evaluación de la luminiscencia de puntos cuánticos de carbono sintetizados mediante el método hidrotermal a partir de Triticum”*



Cuarto Seminario Regional de Materiales Avanzados; 7-9 Octubre 2020, Mineral de la Reforma, Hidalgo. *“Evaluación de las propiedades ópticas de puntos cuánticos de carbono en función de la concentración y pH mediante tratamiento hidrotermal”*



Modalidad de póster (Coautor)

Cuarto Seminario Regional de Materiales Avanzados; 7-9 Octubre 2020, Mineral de la Reforma, Hidalgo. *"Síntesis verde de puntos cuánticos de carbono luminiscentes a partir de jugo de sandía para posibles aplicaciones biomédicas"*



Cuarto Seminario Regional de Materiales Avanzados; 7-9 Octubre 2020, Mineral de la Reforma, Hidalgo. *"Evaluación de las propiedades opto-magnéticas del nanocompósito C-Fe3O4 por el tratamiento hidrotermal"*



## Organización

Tercer Seminario Regional de Materiales Avanzados; 8-11 Octubre 2019, Mineral de la Reforma, Hidalgo.



## Cursos y talleres

*“Principios de fluorescencia y manejo de espectrofotómetro de fluorescencia Perkin Elmer LS55”*. 2-6 Diciembre 2019, Mineral de Reforma, Hidalgo.



Mineral de la Reforma, Hgo., a 10 de diciembre de 2019

Número de control: ICB-IACTyM30382019  
Asunto: Constancia de asistencia a curso.

**A QUIEN CORRESPONDA:**

Por este medio se hace constar que el Ing. Carlos Alfredo Zamora Valencia asistió al curso de "Principios de fluorescencia y manejo de espectrofotómetro de fluorescencia Perkin Elmer LS55", impartido, por la Dra. Rosa Angeles Vázquez García del 2 al 6 de diciembre de 2019, con una duración de 40 horas en el Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales.

Se extiende la presente para los fines y efectos a que haya lugar.

Atentamente  
"Amor Orden y Progreso"

  
 Dra. Rosa Angeles Vázquez García  
 Instructora

  
 M. Magda Ramírez Cardona  
 Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales  
 V. B.

  
 Dr. Oscar Roberto Salas Castillo  
 Director del ICB  
 V. B.

RAVE



Oficial del Documento  
Departamento de Tecnología, Av. A. S. Corona Carretero,  
Mineral de la Reforma, Hidalgo, México, C.P. 42101  
Teléfono: (421) 711 11 00 (10 líneas) Fax: 2019  
Correo: iacty@uaeh.edu.mx  
[www.uaeh.edu.mx](http://www.uaeh.edu.mx)

“El ayer es historia, el mañana es misterio, el hoy es un regalo, por eso se llama presente”

**Maestro Oogway**  
**(Kung Fu Panda)**