Nuevas Perspectivas
Revista de Educación en Ciencias Naturales y Tecnología
ISSN 2953-3996
IIES ADUBA | CIAEC | UBA

Nanoelectrónica desde el estado basal hacia el excitado con aplicaciones en sistemas de liberación de fotones con perspectivas en Bioelectrónica amplificada

Nanoelectronics from the ground state to the excited state with applications in photon delivery systems with perspectives in amplified bioelectronics

Ángel Guillermo Bracamonte[1] y Maximo Poggio Sendra[2]

Bracamonte, A. G. y Poggio Sendra, M. (2026). *Nanoelectrónica desde el estado basal hacia el excitado con aplicaciones en sistemas de liberación de fotones con perspectivas en Bioelectrónica amplificada.* Revista Nuevas Perspectivas, 5 (10), 1-10

Fecha de recepción: 29/10/2025
Fecha de aceptación: 27/04/2026

Resumen: En la actualidad es de gran interés el diseño de Nanomateriales aplicados a Optoelectrónica y Nanofotónica debido al control de la transducción de señales electrónicas desde el estado basal hacia el excitado. Es así que es posible desarrollar fenómenos opto-electrónicos y luminiscentes, al igual que Bioluminiscentes naturales y artificiales. Para ello existen diferentes estrategias para el diseño y fabricación de materiales semiconductores; sin embargo, no hay muchos materiales en la nanoescala que puedan modularse sus propiedades de una manera rápida, de bajo costo y eficiente. Es así que en este trabajo se muestra como a partir de investigación y desarrollo se ha logrado obtener nanopartículas en base a organosilanos modificados. Es por ello que se ha sintetizado nanopartículas de Sílica luminiscentes mono-coloreadas con Rodamina B y Fluoresceína; al igual que multi-coloreadas con la incorporación de variables cantidades de ambos fluoróforos. De esta manera se obtuvo señales incrementadas de emisiones luminiscentes en presencia de cantidades óptimas ambos fluoróforos provenientes de nanopartículas individuales y dímeros mediante Microscopia Laser de Fluorescencia.

[1] Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Contacto: guillermobracquemont@gmail.com

[2] Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Contacto: maximo.poggio@mi.unc.edu.ar

ISSN 2953-3996
IIES ADUBA | CIAEC | UBA

Además, estas nanopartículas poseen otras propiedades y potenciales aplicaciones tales como para la modulación y estudio de propiedades semi-conductoras, trasportadoras de electrones, y generadoras de efectos ambiénícu ambiéní. En este sentido y debido a la importancia e implicancia medioambiental de micro-organismos uni-celulares, y bacterias en esta oportunidad se discutirán al respecto aplicaciones en la generación de BioImágenes mediante la utilización de las nanopartículas obtenidas.

Palabras clave: ambiéníçulas, luminiscencia aumentada, transferencia de energía mejorada, organosilanos, opto-electrónica, nanoimágenes

Abstract: The design of nanomaterials applied to optoelectronics and nanophotonics is currently of great interest due to their ability to control the transduction of electronic signals from the ground state to the excited state. This makes it possible to develop optoelectronic and luminescent phenomena, as well as natural and artificial bioluminescence. For this purpose, there are different strategies for the design and manufacture of semiconductor materials; however, there are few nanoscale materials whose properties can be modulated quickly, inexpensively, and efficiently. Thus, this work shows how, through research and development, nanoparticles based on modified organosilanes have been obtained. For this reason, mono-colored luminescent silica nanoparticles have been synthesized, containing rhodamine B and fluorescein; as well as multi-colored nanoparticles with variable amounts of both fluorophores. In this way, increased luminescent emission signals were obtained in the presence of optimal amounts of both fluorophores from individual nanoparticles and dimers using Laser Fluorescence Microscopy. In addition, these nanoparticles have other properties and potential applications such as the modulation and study of semi-conductive properties, electron transporters, and generators of photonic topological effects. In this sense, and due to the importance and environmental implications of unicellular microorganisms and bacteria, on this occasion, applications in the generation of BioImages through the use of the obtained nanoparticles will be discussed.

Keywords: nanoparticles, enhanced luminescence, enhanced energy transfer, organosilanes, opto-electronics, nanoimaging

Introducción

Texto La Biofotónica, y la Bioelectrónica, es una nueva Área de la Ciencia la cual consiste en el estudio de la interacción de Fotones generados a partir de la luz clásica y no-clásica, mediante la aplicación de Instrumentación Avanzada con nuevos arreglos instrumentales con la incorporación de Láseres, continuos y pulsados; al igual que Instrumentación Avanzada Estándar, la cual permite estudios avanzados y aplicados en Áreas de la Ciencia de la Vida, entre otras. Por otra parte, la incorporación de Nanoestructuras en los sistemas Biológicos en estudio como transductores, propagadores, incrementadores de señales Biológicas, como marcadores de Bio-estructuras, células, bacterias, etc., y como dispositivos Multifuncionales, entre otras funciones ha mostrado un alto interés e impacto.

Es por ello que la Nanofotónica, área en la cual se estudia todos los fenómenos Lumínicos clásicos y no clásicos producidos en la Nano-escala, ha mostrado diversos desarrollos y aplicaciones en Ciencias

ISSN 2953-3996
IIES ADUBA | CIAEC | UBA

de la Vida. Podemos mencionar el desarrollo de Nanopartículas (NPs) de Oro con coberturas de Sílica con propiedades Ultraluminescentes en base a Fluorescencia Incrementada por la presencia de Metal (**MEF**). Fenómeno el cual consiste en la excitación del núcleo metálico mediante un haz luminoso el cual genera sobre la superficie metálica un Campo Electromagnético de alta Energía que excita a las moléculas Fluorescentes en un intervalo corto de distancias en el orden de los nanómetros. De esta manera de se obtiene una mayor población electrónica excitada la cual aumenta la intensidad de emisión acompañada con una disminución de los tiempos de vida de Fluorescencia. A su vez mencionados fenómenos Lumínicos pueden acoplarse produciendo nuevas propiedades, tales como la Transferencia de Energía Resonante Fluorescente (**FRET**) incrementado por la presencia del Metal y **FRET** acoplado a **MEF**, entre otros, etc.

De manera similar la síntesis de nanopartículas de Silica en base a la modificación de compuestos organosilanos ha generado diferentes nano arquitecturas y propiedades interesantes para el estudio de procesos Opto-electrónicos y generación de luminiscencia. Es así que el control de la Nano-escala es un importante factor para poder confinar moléculas y diferentes tipos de materiales ópticamente y electrónicamente activos para realizar estudios de materia sólida, coloidal, y también en sistemas fluídicos. De estos estudios es posible proponer aplicaciones igualmente. En este sentido, en la presente publicación se muestra el diseño y síntesis de nanopartículas con propiedades luminiscentes mejoras en base a FRET y aplicaciones. En este contexto se discute acerca de las capacidades y potenciales usos de las mismas desde un punto de vista de la Nano-electrónica en el estado basal hacia un estado excitado con emisiones aumentadas. Es importante destacar que estos trabajos han sido producidos principalmente en medios académicos de formación de grado y posgrado Universitario en diferentes Instituciones locales y extranjeras. Es así que en la parte dedicada a la discusión se dedica en parte a temas sobre pedagogía en la enseñanza de las Ciencias en medios multiculturales y lingüísticos; y como el diseño de materiales de alta-performances permiten el encuentro de equipos de trabajos multidisciplinarios.

Materiales y métodos

Instrumentos

Texto Las determinaciones de UV-vis y Fluorescencia fueron llevadas a cabo en el equipo Varian UV-50 Carrier 50 Conc. Y en el equipo Cary-Eclypse respectivamente.

Para obtener las imágenes de Microscopia Fluorescente, se utilizó el aparato “Olympus Fluo view FV1000 confocal laser scanning microscope”. Las imágenes ambién se tomaron por Microscopia de Transición electrónica (TEM, Transmission Electron Microscopy) con el equipo TEM JEM-1230, JEOL a un voltaje de 200 Kv. Para la determinación de dimensiones por Dispersión dinámica de la Luz (DLS, Dynamic Light Scattering,), el equipo utilizado fue el “Delsa™ nano submicron particle size-zeta potential particle analyzer”.

Para las mediciones de Citometria en Flujo o detección fluorescente laser, se utilizó el modelo de la Campania BD (BD Company).

ISSN 2953-3996
IIES ADUBA | CIAEC | UBA

El baño ultrasónico (Branson 2510) fue usado para la dispersión de los reactivos y de las dispersiones coloidales. La centrifugación fue realizada usando una Eppendorf Centrifuge 5804 (8500 rpm en 10').

Los datos obtenidos fueron analizados mediante el programa Origin (scientific graph system), versión 8.

Reactivos

El agua se obtuvo usando un aparato de micro poros para que fuera ultra pura, es decir agua deonizada (Agua milli Q), Rodamina B (RhB, 99% pureza, Sigma–Aldrich), Fluoresceína (Fl, 98%, Sigma Aldrich), Tetra Etil Ortosilicato (TEOS, 98%, Sigma–Aldrich), Etanol (Sintorgan, grado HPLC, 99.9%), 3-(aminopropIl) trietoxisilano (APS, 98%, Sigma–Aldrich), Hidróxido de Amonio (NaOH, 14.2 M, Sigma–Aldrich), N-hidroxisuccinamida (NHS) y N-(3-dimetilaminopropil)-N'- etilcarbodiimida hidroclorada (EDC) (98%, Sigma–Aldrich).

Procedimiento experimental

Se sintetizaron nanopartículas de sílica (-SiO_2-), en medio básico (NH_4OH 14.2 M) según la metodología de Störber. La misma consiste en la utilización de unidades monoméricas de compuestos organosilanos, tal como el Tetraetil Ortosilicato (TEOS, $SiC_8H_2O_4$). Luego mediante reacciones de química orgánica, se les unieron covalentemente Fluoróforos con diferentes longitudes de emisión, primero por separado y luego ambos incorporados homogéneamente en el volumen de las nanopartículas. Para ello la agitación constante y mantención de la dispensabilidad fue un requisito importante para la obtención de partículas esféricas con superficies bien definidas.

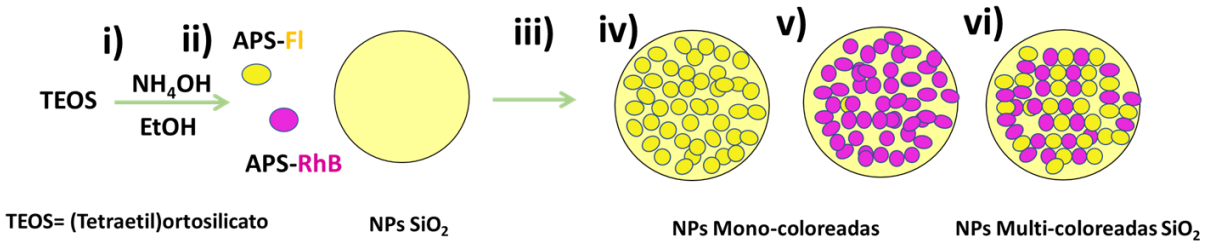


Figura 1. Esquema de Nanopartículas de Sílica cargadas (NPs SiO_2) con fluoróforos (NPs SiO2-Fl, NPs SiO2-RhB, y NPs SiO2-RhB-Fl). Notes: APS-Fl, y APS-RhB son monómeros de organosilanos APS conjugados covalentemente con respectivos fluoróforos.

ISSN 2953-3996
IIES ADUBA | CIAEC | UBA

Resultados y Discusión

Síntesis y caracterización de Nanoparticulas emisoras

Primero se realizó la caracterización de los fluoroforos: solución madre de RhB (0.65±0.01) mM y solución madre de Fl (1.26±0.06) mM, mediante dos técnicas espectroscópicas: Absorbancia y Fluorescencia. Estas determinaciones se llevaron a cabo con el objeto de determinar la longitud de onda de trabajo con respecto a la Fluoresceína (máx. de absorción) y Rodamina (máx. de absorción), con las cuales posteriormente se realizó todo el experimento. Las mismas fueron: Fluoresceína ʎ de trabajo = 479nm y Rodamina ʎ de trabajo = 554 nm. Una vez realizada la caracterización, se llevó a cabo la unión covalente con APS: APS-RhB (1.3±0.1) mM (en presencia de NHS/EDC) y APS-Fl (2±1) Mm (en presencia de NHS/EDC). Los fluoróforos unidos covalentemente al APS fueron utilizados para su incorporación en nanopartículas de Sílica mono-fluorescentes y multi-fluorescentes.

Mediante el método de Storber se llevó a cabo la síntesis de 3 dimensiones de nanopartículas (NPs) de sílica (-SiO_2-). Los diámetros obtenidos controlando concentraciones de TEOS agregados en la escala de los micro-litros fueron de 250 nm, 190 nm, y 110 nm, nominadas tal como grandes, intermedias y pequeñas. Estas dimensiones fueron obtenidas inicialmente en ausencia de agregados de fluoróforos conjugados con organosilanos modificados. Las mismas fueron modificadas en presencia de los fluoróforos dependiendo de las concentraciones adicionadas. A este nivel de concentraciones las dimensiones aumentaron en el intervalo de 10-25 nm dependiendo del nivel de APS-Fl y APS-RhB. Las dimensiones fueron determinadas por mediciones de dispersión de la Luz (DLS) y Microscopia de Transferencia Electrónica (TEM). Observando las imágenes de TEM, para las NPs (-SiO_2-) de mayor diámetro, se pudo determinar que había agregados, los cuales formaban dímeros, trímeros (**Figura 2**). Estas nanopartículas fueron estables y fácilmente dispersables con sonicación y vortexing. Estas propiedades fueron consideradas como excelentes para ser manipuladas en sistemas coloidales. Es por ello que en la próxima etapa se caracterizaron las propiedades espectroscópicas en el estado basal y excitado.

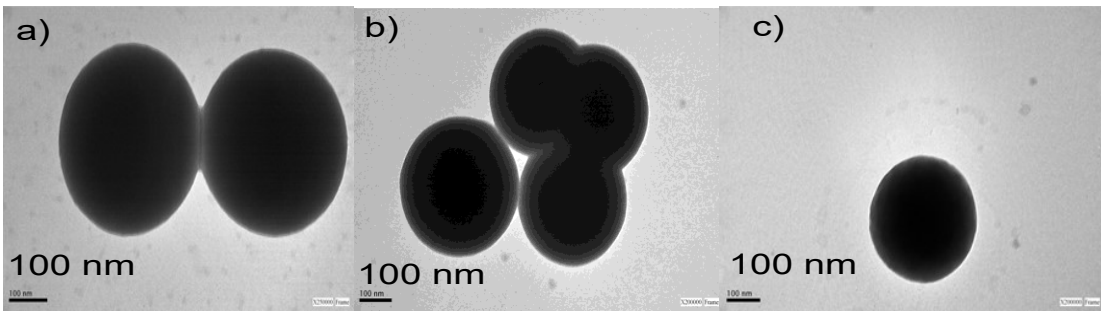


Figura 2. Imágenes de Microscopia TEM: a) formación de nanopartículas diméricas, b) formación de trímeros y tetrámeros, c) nanopartículas individuales fueron obtenidas con dimensiones más pequeñas dentro del intervalo de dimensiones obtenidos.

ISSN 2953-3996
IIES ADUBA | CIAEC | UBA

Caracterización óptica de nanomateriales y evaluación de fenómenos optoelectrónicos en el estado basal y excitado

En base a esas nanopartículas obtenidas, se diseñaron nanopartículas hibridas, con propiedades fluorescentes mediante la incorporación de ambos Fluoroforos (RhB Y Fl). El diámetro elegido fue el intermedio obtenido. Lo que se buscó estudiar fue el fenómeno de transferencia de energía fluorescente por resonancia de Förster (FRET). El concepto básico está relacionado con una transferencia de energía entre dos compuestos. La energía proveniente de la emisión de un Fluoróforo (Fluoresceína-donor) es absorbida por un segundo fluoróforo (Rodamina-aceptor) con la cual es excitado; y de esta manera emite (**Figura 3**). De acuerdo a los valores de rendimiento Cuántico (QY), del 31% para la Rodamina y 95% para la Fluoresceína, se tiene que la fluoresceína al poseer un mayor QY emitirá 3 veces más, con lo cual el aceptor (Rodamina) de esta manera colectará más energía e incrementará la emisión de la NPs (-SiO_2-). Al igual que, según la necesidad, variando la longitud de excitación, se pueden obtener NPs (-SiO_2-) con variables longitudes de emisión (de allí su nombre de multicolores, versátiles según necesidad acompañadas con propiedades fluorescentes controladas).

De manera de corroborar o evaluar este fenómeno de incremento (FRET) a la generación de Nano imágenes, BioImágenes y aplicaciones en técnicas en flujo como Citometría, se evaluaron Nanoimágenes obtenidas mediante Microscopía Laser de Fluorescencia.

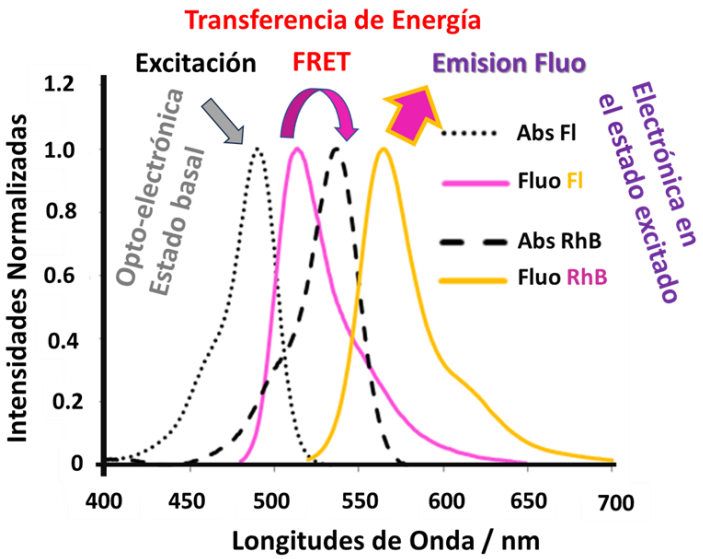


Figura 3. Propiedades espectroscópicas incorporadas en las nanopartículas de Sílica. Espectros normalizados de absorción y emisión de las moléculas dadores de energía Fl y aceptoras RhB.

Esta estrategia FRET propuesta fue evaluada mediante Microscopia Laser de Fluorescencia (**Figura 4**). En lo que respecta a la emisión, la emisión de fluoresceína, se ve incrementada por la presencia de Rodamina debido a la presencia del sistema FRET incorporado (**Figura 3**). La absorción en el estado basal es aumentada y mejorada debido a la presencia de moléculas altamente conjugadas electrónicamente lo cual posee un efecto optoelectrónico desde el estado basal hacia el excitado. De

ISSN 2953-3996
IIES ADUBA | CIAEC | UBA

manera de estudiar este efecto y demostrarlo mediante la generación de Nanoimágenes, se realizo la toma de imágenes mediante Microscopia de Fluorescencia Laser. Es así que las nanopartículas respondieron a la excitación laser proporcionalmente a sus respectivas máximas longitudes de onda de absorción (Figura 4.a and b). Es así que Nanoparticulas cargadas con Fl, NPs SiO2-Fl mostraron bajas emisiones excitándolas hacia longitudes mas grandes tal como NIR, mientras que óptimamente alrededor de 488 nm. Luego, se observó que nanopartículas individuales mostraron aproximadamente 1/3 de la superficie luminiscente de la NPs (-SiO_2-) APS-Fl, posee una cobertura luminiscente verde intensa; mientras que nanopartículas en presencia del aceptor mostraron una clara mayor superficie emisora (Figura 4.d) aplicando una longitud de excitación que acople la transferencia de energía vía FRET. Es así que las Nanoimágenes de nano-arquitecturas con el par aceptor/donor mostraron al menos una cubierta de alta intensidad de al menos 3-4 veces más grande con aproximadamente un 20-30% más de luminiscencia. Esto se debe a la existencia del fenómeno FRET confinado en la nano-escala debido a la presencia de Rodamina (aceptor), se incrementa la intensidad de emisión de la Fluoresceína. Además, se determinó que se trataba de un dímero cuyo valor de intensidad en el corazón del mismo fue de ~2400 (son dos núcleos de aprox. 10 pixels, que equivalen a 350 nm cada uno). Es por ello que este fenómeno puede estar siendo estimulado por otros mecanismos de incremento al mismo tiempo. Otras fuentes de resonancia electrónicas del organosilano pueden ser generadas en presencia de pequeños ensambles o nano-agregados tal como dímeros. En este sentido se continúa realizando estudios de manera de responder interrogantes sobre otros efectos electromagnéticos en la nano-escala que puede aumentar o modificar densidades electrónicas en el estado basal y excitado. En este contexto se menciona el desarrollo de fenómenos Láser en base a la dispersión de la luz del tipo Raman en materiales nanoestructurados de Sílica igualmente.

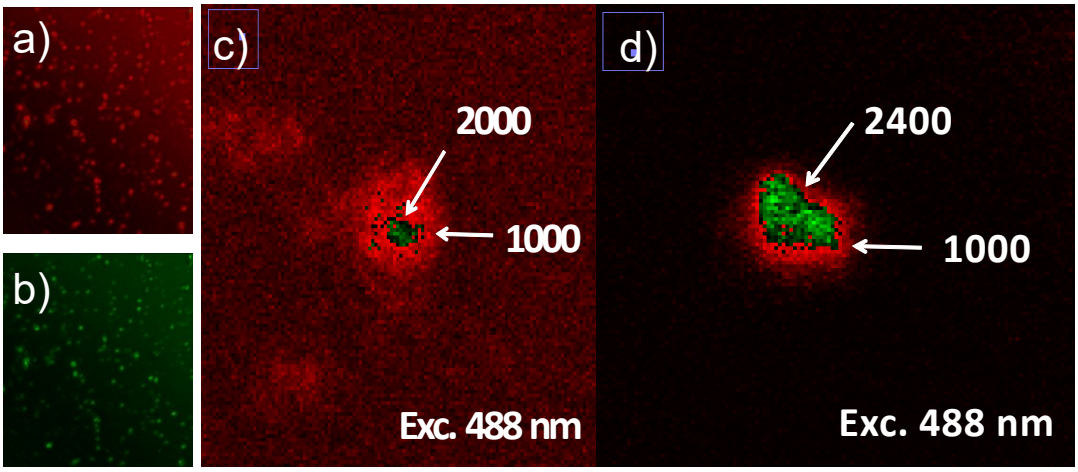


Figura 4. Imágenes obtenidas por microscopia Laser de Fluorescencia. a) Panorámica para la Nanopartículas de sílica con Fluoresceína, a una longitud de excitación de 520nm y b) a 488 nm. c) NPs (-SiO2-) APS-Fl (monocoloreadas). d) NPs (-SiO2-) APS-Fl y APS-RhB (multicoloreadas).

ISSN 2953-3996
IIES ADUBA | CIAEC | UBA

Comentarios y reflexiones sobre nanomateriales utilizados y propiedades en estudio en contexto de Investigación, Desarrollo y Educación

El presente trabajo de investigación ha sido presentado en breve de manera de comunicar los aspectos mas importantes obtenidos en base a un material altamente expandido en el domino de la investigacion cientifica fundamental al igual que la aplicada. Los organosilanos son considerados materiales opticamente inactivos pero su modificacion y combinacion con otras fuentes de propiedades opticas e incorporacion de nuevos materiales opticamente activos producen propiedades nuevas las cuales no son solo explicadas por fenómenos conocidos y clásicos. Sino, que aparecen fenómenos asociados a la generación de campos electromagnéticos y de dispersión de la luz los cuales afectan diferentes niveles y modos de energías. Estos materiales han demostrado una versatilidad en aparatos electrónicos al igual que en la producción de baterías. Teléfonos portátiles de uso diario poseen microprocesadores y chips con incorporación de delgadas multicapas funcionales silanizadas. Es por ello que el uso de organosilanos para la obtención de una polimerización nanoestructurada provee nuevas perspectivas en la generación de señales ópticas. Además, la adición covalente y no covalente de moléculas, materiales cuánticos y nanoestructuras ópticamente activas abre nuevas posibilidades de interacción entre materiales al igual que de interacciones fotónicas y electrónicas con la materia circundante.

Estos materiales fueron utilizados en nuestros laboratorios de Investigación al igual que en otras Universidades, tal como la Universidad Laval en trabajos de colaboración de Investigación, desarrollo y educación. Los mismos han sido manipulados por diferentes estudiantes internacionales con varias formaciones multidisciplinarias mencionando desde técnicos, Ingenieros, Químicos, Físicos, y aun también diseñadores. Cada uno de ellos con diferentes capacidades y tareas asignadas demostraron poder utilizar y desarrollar materiales de alta performance y rendimiento que aun siguen bajo estudio por sus nuevas perspectivas hacia diferentes campos de aplicaciones. Se pueden mencionar desde el diseño de chips, micro dispositivos hasta materiales híbridos combinados con biomateriales y bio estructuras. Es por ello que estas resumidas observaciones sobre un material en desarrollo no alcanzan a mostrar la implicancia e importancia de la educación y desarrollo de materiales de alta gama con nuevas perspectivas estimulantes con una amplia visión de aplicaciones. Es por ello que el trabajo continuo en progreso desarrollando todos los aspectos mencionados y más; con perspectivas hacia la Bioelectrónica y energía en donde es necesario combinar trasferencias electrónicas eficientes aún continúan.

Conclusiones y perspectivas

En resumen, se puede destacar los siguientes items en base a lo estudiado. En lo que respecta a las propiedades Luminiscentes de estas Nanoarquitecturas; las mismas mostraron emisiones de Fluorescencia proporcionales a los rendimientos cuánticos y concentraciones incorporadas de los correspondientes Fluoróforos en las NPs coloreadas. Mientras que en presencia de ambos Fluoróforos se observó un incremento en la emisión de al menos de un 25% explicado mediante el mecanismo de FRET, entre la Fl como donor que posee 3 veces más alto el rendimiento cuántico con respecto a RhB

ISSN 2953-3996
IIES ADUBA | CIAEC | UBA

como aceptor. Si bien no se obtuvo una resolución completa de ambos espectros a partir de mediciones de Fluorescencia de NPs, se registró ambos máximos de emisión solapados con una mayor intensidad de emisión. Sin embargo, mediante Microscopia Laser de Fluorescencia en base a NPs individuales el fenómeno de aumento de emisión fue más alto debido a la eliminación del efecto de dispersión de la luz en dispersión coloidal; con lo cual se llegó a incrementos de hasta un 40% en óptimas condiciones.

Referencias bibliográficas

Salinas, C.; Bracamonte, A. G. (2018) Design of Advanced Smart Ultraluminescent Multifunctional Nanoplatforms for Biophotonics and Nanomedicine applications, Frontiers in Drug, Chemistry and Clinical Research, 1 (1), 1-8.

Guo, J.; Hendrickson, J. R.; T. Luk, S. (2017) Special Section Guest Editorial: Nanoplasmonics for Biosensing and Enhanced Light-Matter Interaction, Special Section Guest Editorial: Nanoplasmonics for Biosensing and Enhanced Light-Matter Interaction, J. Nanophoton., 12, 1 (012501), 1-3.

Gontero, D.; Veglia A. V., Bracamonte, A. G.; Boudreau, D. (2017) Synthesis of Ultraluminiscent gold core-shell Nanoparticles as NanoImaging Platforms for Biosensing applications based on Metal enhanced fluorescence, RSC Adv., 7, 10252-10258.

Zhang, J.; Fu, Y.; Chowdhury, M. H.; Lakowicz, J. R. (2007) Enhanced Fo 1rster Resonance Energy Transfer on Single Metal Particle. 2. Dependence on Donor-Acceptor Separation Distance, Particle Size, and Distance from Metal Surface, J. Phys. Chem. C, 111, 11784-11792.

Brouard, D.; Lessard Viger, M.; Bracamonte, A. G; Boudreau, D. (2011) Label-free biosensing based on multilayer fluorescent nanocomposites and a cationic polymeric transducer., ACS Nano, 5, 1888-1896.

Asselin, J.; L.Viger, M.; Boudreau, D. (2014) Review Article. Metal-Enhanced Fluorescence and FRET in Multilayer Core-Shell Nanoparticles, 812313 (2014), 1-16.

Salinas, C.; Amé, M.; Bracamonte, A. G. (2020) Tuning silica nanophotonics based on fluorescence resonance energy transfer for targeted non-classical light delivery applications, J. Nanophoton, 14, 4 (046007), 1-19.

Ma, K.; Mendoza, C.; Hanson, M.; Werner-Zwanziger, U.; Zwanziger, J; Wiesner, U. (2015) Control of Ultrasmall Sub-10 nm Ligand-Functionalized Fluorescent Core−Shell Silica Nanoparticle Growth in Water, Chem. Mater., 27, 4119−4133.