

# QUE SON AS NANOPARTÍCULAS METÁLICAS (NPM)

ANA M. GONZÁLEZ NOYA  
MARCELINO MANEIRO  
ROSA PEDRIDO  
MANOLO R. BERMEJO

*Departamento de Química Inorgánica  
Universidade de Santiago de Compostela*

## 1. INTRODUCCIÓN

No pasado XXVIII congreso de ENCIGA presentamos unha comunicación (22a) na que aproveitando como pretexto o Ano Internacional da Luz, dabamos conta dos efectos orixinados pola luz sobre algúns *Nanomateriais Inorgánicos*. O escaso tempo con que contamos para expoñer a comunicación, levou a que non fomos quen de amosar canto hoxe se coñece sobre estes novos materiais. Como consecuencia, e para paliar este problema, vímonos na obriga de publicar un artigo máis longo no noso Boletín (22b) completando parte desta información.

A nosa intención de Instruír, Ensinar e Divertir non se cumprira axeitadamente na exposición ao facerse demasiado densa e, por elo, se nos pediu que por ser tan interesante o tema volveramos en anos sucesivos, sobre este tema, presentando por separado algúns dos diversos *Nanomateriais Inorgánicos Metálicos* hoxe coñecidos.

Para o Congreso de ENCIGA do ano 2016 (22c) seleccionamos como tema a tratar o estudo e a importancia das *Nanopartículas Metálicas (NPM)*, presentando de modo particular as *Nanopartículas de Ouro (NPAu)*, por ser actualmente as máis utilizadas. No presente artigo pretendemos ampliar e completar canto se nos quedou por contar na exposición presentada no XXIX Congreso de ENCIGA celebrado en Negreira no ano 2016 (22c).

Neste traballo pretendemos estudar os seguintes aspectos relacionados coas *NPAu*: que entendemos por *Nanopartículas Metálicas de Ouro*, a súa natureza, a súa constitución, o seu tamaño, a súa forma,...etc; os métodos actuais de obtención; como é o tamaño destes novos materiais e cal é o efecto da luz sobre eles; como e con que medios experimentais podemos detectar e coñecer o seu comportamento físico e químico; como se derivan as súas propiedades dese comportamento; cal é a importancia, hoxe, do uso destes materiais inorgánicos tanto na industria como na farmacoloxía ou na detección de tumores malignos,...etc.

## 2. QUE SON AS NANOPARTÍCULAS METÁLICAS

Como o seu nome indica as Nanopartículas Metálicas, *NPM*, son partículas metálicas de dimensión “*nano*” (dimensión entre 1-100nm) nalgunhas das súas dimensións do espazo. Coñécense e prepáranse nanopartículas de: ouro, prata, titanio, FePt, SnO<sub>2</sub>,...etc. De todas elas as máis coñecidas na historia, e as máis utilizadas na actualidade, son as de ouro e prata e, pola súa transcendencia hoxe, escribiremos no que sigue sobre as “*Nanopartículas de Ouro*” (*NPAu*).

As *NPAu* son coñecidas e utilizadas na historia dende cando menos o século IV desta era, cando uns xoieiros e vidreiros romanos fabricaron, moi probablemente sen saber ben o que facían, a chamada “*copa de Licurgo*” (unha fermosa coma de vidro que se atopa no Museo Británico de Londres) utilizando Nanopartículas de ouro e prata duns 50-70nm de diámetro distribuídas no interior do vidro.

Na Fig. 1 vese o efecto producido pola presenza destas nanopartículas na copa: cando se ilumina con luz reflectida, a coloración resulta verde; namentres que se ve vermella ao iluminala con luz transmitida (iluminada dende o interior da copa).



Fig. 1. Copa de Licurgo (Museo Británico, Londres).

Este mesmo efecto é o que observamos hoxe nas vidreiras dos rosetóns das catedrais románicas e góticas dos séculos XIII-XV, que se construíron con vidros que contiñan este tipo de nanopartículas.

Dado que no que segue se vai escribir sobre *NPAu*, convén que teñamos unha idea da variedade de formas que poden ter estas nanopartículas (vese na Fig. 2 que estas formas son moi variadas); aínda que neste traballo escribiremos sobre as nanoesferas (Fig. 2a) e as nanobarras (Fig. 2b, 2d).

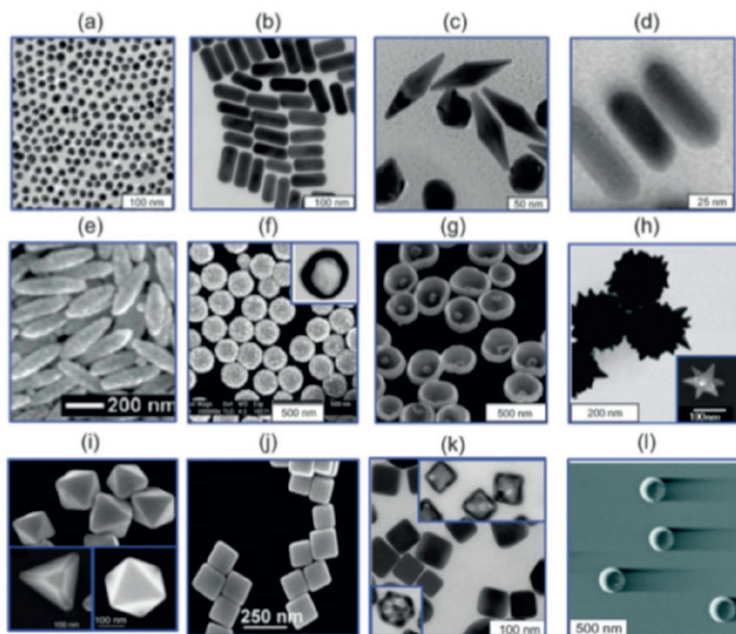
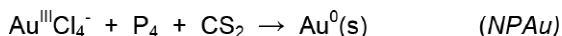


Fig. 2. Formas de *NPAu* (L. Dykman *et al.*, *Chem. Soc. Rev.* **2012**, *41*, 2256).

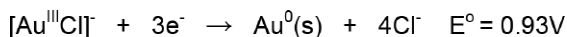
Nos últimos 20 anos é enorme a curiosidade que ten espertado o estudo destas *NPAu* polo que se ten multiplicado moito o número das publicación realizadas sobre elas; esta curiosidade deriva das singulares propiedades de superficie, físicas, ópticas e eléctricas que amosan estas nanopartículas. Entre as súas aplicacións podemos avanzar: a súa enorme capacidade para penetrar as paredes celulares, por endocitose; e a súa biocompatibilidade. Debido a estas e outras propiedades tense incrementado moito o estudo das súas aplicacións en usos biomédicos; en bioimaxe; en fototerapia; como biosensores; e, moi particularmente, como transportadores de xenes e de medicamentos no interior das células vivas.

### 3. A OBTENCIÓN DAS *NPAu*

Sinalemos que, aínda que estas nanopartículas se están utilizando dende cando menos o século IV, os procedementos de síntese coñecidos son moito máis modernos. Michael Faraday pasa por ser o primeiro científico moderno en obter no laboratorio estas *NPAu* xa que, no ano 1857, publicou un traballo sobre a súa obtención reducindo un tetracloroaurato metálico con fósforo, nun disolvente axeitado como disulfuro de carbono, seguindo a reacción:



Esta reacción é hoxe doada de entender ao coñecerse o carácter oxidante do Au(III), de acordo co seu semipar:



Polo que redutores moi suaves como o fósforo, o ácido cítrico, o ácido ascórbico e similares o poderán reducir dando lugar á formación de *Nanopartículas de Ouro*. Cando o redutor, o

disolvente ou algúns ligandos presentes, poden recubrir esas nanopartículas formadas, o proceso resulta máis favorable podéndose formar o embrión e, logo, o núcleo das *NPAu* medra ata acadar o tamaño desexado e, finalmente, podemos recubrir estas nanopartículas co ligando que queiramos.

En épocas máis recentes (sobre 1950) o método máis simple de obtención era a reacción de Turkevich mellorada posteriormente por Frens (na década de 1970). Este proceso, esquematizado na Fig. 3, consiste nunha cadea de reaccións nas que, por quecemento do ácido tetracloroáurico con citrato sódico en auga, se obtiñan as *NPAu*. A reacción transcorre a traveso dunha xeira de coloracións: dende a inicial gris, pasando por azul, púrpura e vermello.

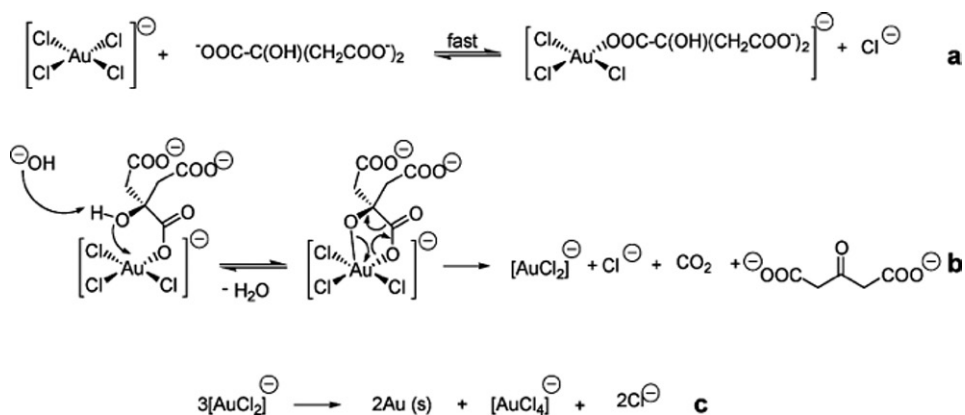


Fig. 3. Obtención de *NPAu* polo método de Turkevich e Frens (I. Ojea-Jiménez *et al.*, *J. Phys. Chem. C* **2010**, *114*, 1800).

Os problemas deste método de obtención radican na escasa uniformidade das nanopartículas e na dificultade de establecer o tamaño das mesmas: obtéñense nanopartículas de tamaños entre 8-150nm. Como se pode ver no esquema as *NPAu* prepáranse por un proceso no que Au(III) pasa previamente a Au(I) e logo, este composto, desproporciónase de acordo co proceso:



O método de obtención seguido cara finais do século pasado era o método proposto por Brust e Schiffrin (ver o esquema da Fig. 4). Neste método o ácido tetracloroáurico ( $\text{HAuCl}_4$ ) redúcese por tioles ou tioéteres nun disolvente orgánico, co que se consegue que o Au(III) pase primeiramente a Au(I) e, posteriormente, este composto de Au(I) redúcese rapidamente a Au(0) con borohidruro de sodio ( $\text{NaBH}_4$ ). As nanopartículas obtidas recóbreanse polos propios tioles ou tioéteres conseguindo *NPAu* de tamaños axeitados; pero non nanopartículas biocompatibles, por mor da toxicidade dos recubrimentos orgánicos empregados.

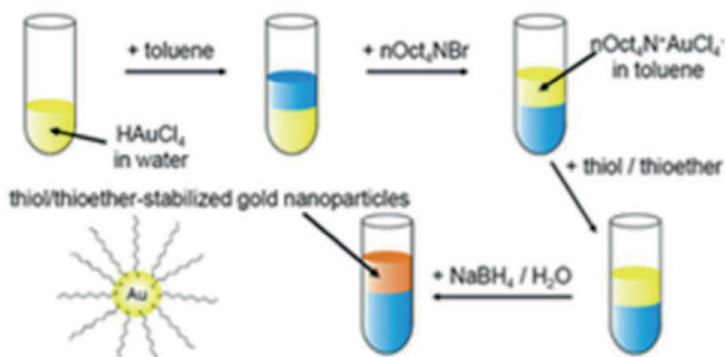
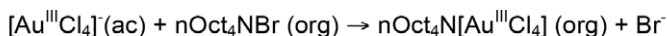


Fig. 4. Método de obtención de *NPAu* polo método de Brust e Schiffrin  
( $n\text{Oct}_4\text{NBr}$  –TOAB– = bromuro de tetraoctilamonio).

Como ilustra a Fig. 4, unha disolución acuosa que contén ácido cloroáurico engádese sobre unha capa inmisible de tolueno e TOAB (bromuro de tetraoctilamonio). Este composto (TOAB) actúa como un catalizador de transferencia de fase e incorpora o derivado de ouro á capa orgánica. Seguidamente engádeselle un derivado tiólico ou un tioéter que reduce o Au(III) a Au(I) ao tempo que complexa este último. Finalmente a redución a Au(0) complétase con borohidruro sódico e fórmanse nanopartículas de ouro dun tamaño de 2-6nm de diámetro. As reaccións semellan ser:

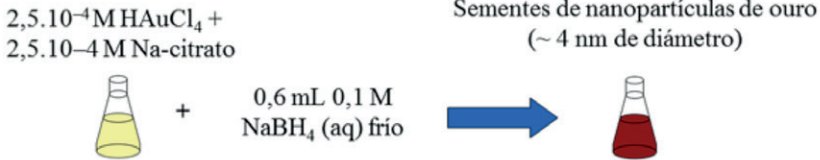


As *NPAu* que se obteñen quedan na fase orgánica recubertas polo ligando tiol -RS-. Deste xeito obtéñense nanopartículas do tamaño desexado, pero aínda non biocompatibles.

Estes dous métodos foron os métodos históricos seguidos nos últimos 50 anos para a obtención de *NPAu* tanto en medio acuoso como en medio orgánico; pero hoxe xa non se utilizan.

Un dos métodos máis utilizados na actualidade consiste na síntese de *NPAu* en medio acuoso en tres etapas (ver Fig. 5). Nel presentamos as dúas primeiras etapas nas que se forman as sementes (etapa I) por redución do  $\text{HAuCl}_4$  con citrato sódico, en auga, de modo que se forma unha disolución de sementes de Au (I)/citrato que se reducen co  $\text{NaBH}_4$  a nanosementes de ouro dun tamaño duns 4nm.

### I. Síntese de sementes



### II. Disolución stock

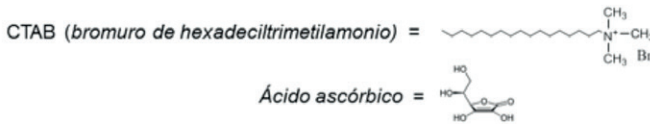


Fig. 5. Obtención de *NPAu* en medio acuoso.

Na etapa II prepárase unha disolución stock de Au(I) por redución de  $\text{HAuCl}_4$  con ácido ascórbico nunha disolución acuosa que contén bromuro de hexadeciltrimetilamonio (CTAB) que vai actuar como recubridor das *NPAu*.

Nunha terceira etapa engádense, sobre as sementes de *NPAu* da etapa I, esta disolución stock, para que as vaian facendo medrar ata acadar o tamaño que queiramos. A presenza de sistemas redutores suaves, como  $\text{Ag(I)}$ ,  $\text{I}_2$ ,...etc. nesta disolución, incrementan a velocidade do proceso de formación das *NPAu*.

## 4. CARACTERIZACIÓN E APLICACIÓNS DAS *NPAu*

As técnicas empregadas no recoñecemento e na caracterización das *NPAu* son as habituais na caracterización dos compostos de coordinación e outras especies das ciencias dos materiais, así:

- Espectroscopias de absorción e de fluorescencia.
- Espectroscopias IR e Raman que permiten poder recoñecer ben os ligandos que recobren as nanopartículas.
- *Resonancia de Plasmón Superficial*, que identifica a pureza e o tamaño das nanopartículas.
- A difracción de raios X de pó ou de monocristal caracterizan claramente ás *NPAu*.
- A microscopía electrónica de transmisión (TEM) permite obter imaxes precisas das nanopartículas e establecer a forma e a distribucións dos correspondentes tamaños.

É tan variado e amplo o campo das aplicacións das *NPAu* que destacaremos como máis interesantes na actualidade o seu estudo no uso como sensores de luz na diagnose do cancro; sensores para a detección de enfermidades diversas; sistemas de subministro de medicamentos programados; sensores para a detección de analitos químicos contaminantes presentes nun medio en moi

reducidas concentracións; e, de modo particular, son importantes as súas propiedades ópticas. Quizáis a súa aplicación máis relevante na actualidade sexa a utilización da súa fluorescencia en sondas fluorescentes e en técnicas de bioimaxe.

## 5. PROPIEDADES ÓPTICAS DAS *NPAu*: RESONANCIA DE PLASMÓN SUPERFICIAL

A importancia actual das *NPAu* baséase nas excepcionais propiedades ópticas que posúen. Estas propiedades derivan do particular confinamento cuántico que provoca o seu tamaño e que determina, entre outras propiedades, unha intensa cor completamente distinta da que presenta o metal na súa forma natural. Tal confinamento cuántico é consecuencia do diferente enlace que presentan as nanopartículas e o metal no seu estado natural. No caso das nanopartículas (poucas partículas e de tamaño *nano*) esa cor deriva dun fenómeno físico que ten lugar na súa superficie e que recibe o nome de *resonancia de plasmón superficial* (*SPR* na terminoloxía inglesa). Trátase dunha oscilación colectiva dos electróns da banda de valencia na superficie desas nanopartículas estimulada pola luz incidente. Cando a frecuencia dos fotóns que inciden coinciden coa frecuencia de oscilación dos electróns que se atopan na superficie da nanopartícula, ademais da luz dispersada, prodúcese unha intensa absorción normalmente na zona do visible. Esta absorción ten lugar cando o tamaño das nanopartículas esféricas é menor que a lonxitude de onda da radiación incidente; nese caso, ao fenómeno chámasele resonancia de plasmón superficial localizada: a interpretación física deste fenómeno, no caso de nanopartículas esféricas, ilústrase na Fig. 6.

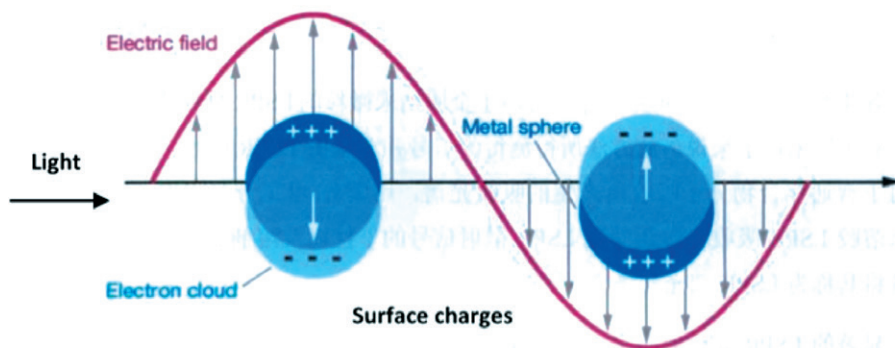


Fig. 6. Resonancia de plasmón superficial.

O campo eléctrico dunha onda lumínica incidente realiza o efecto de polarizar os electróns da banda de condución con respecto do núcleo, moito máis pesado das nanopartículas, orixinado un dipolo: as cargas positivas permanecen practicamente inmóbiles no centro, pero as negativas desprázanse á superficie pola influencia do campo externo. O resultado é unha diferenza de carga na fronteira (superficie) da nanopartícula, e tal efecto orixina unha forza lineal que tende a recuperar a distribución homoxénea da carga. O resultado é que se crea unha oscilación bipolar dos electróns desa banda de valencia que é o que se denomina *oscilación de plasmón superficial*.

A absorción derivada da *SPR* localizada nas *NPAu* ten un coeficiente de absorción moi grande ( $3 \cdot 10^{11} \text{ cm}^{-1}$ ) e varias ordes de magnitude superior ao que presentan os habituais colorantes orgánicos. Esta absorción, sábese hoxe, que depende da composición, tamaño, forma, distancia entre partículas, do recubrimento (propiedades dieléctricas do mesmo), así como das modificacións da súa superficie e do índice de refracción do medio circundante. Esta alta sensibilidade das nanopartículas é un dos factores que constitúe o éxito da súa utilización en medios biolóxicos.

A modo de exemplo digamos que a banda *SPR* dunha nanoesfera de Au de 13 nm se sitúa no entorno dos 530 nm de lonxitude de onda e podemos modular, esa posición, cambiando o seu tamaño (ver Fig. 7). Sinalemos que estas nanopartículas absorben entre o visible e o infravermello cercano, dependendo do seu tamaño.

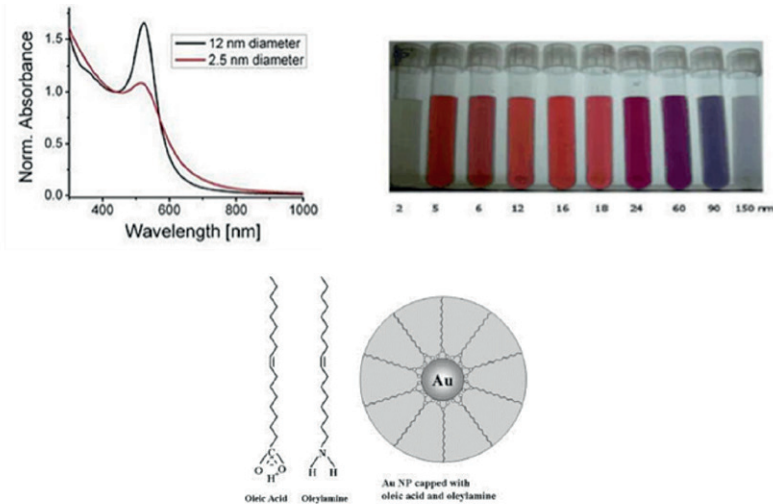


Fig. 7. Espectro de resonancia dunha *NPAu*.

As *NPAu* orixinan tanto absorción como dispersión de luz, e a importancia relativa de ambos fenómenos depende do tamaño desas nanopartículas: tamaños menores de 20 nm amosan esencialmente absorción, pero nas de tamaños maiores vai medrando a dispersión.

De acordo coa teoría do fenómeno SPR (teoría de Mie), a frecuencia das bandas de plasmón das partículas esféricas debería diferir das non esféricas, e así sucede nas nanobarras de Au. Nestas obsérvanse dúas bandas de plasmón, unha que corresponde ás oscilacións bipolares ao longo do eixo lonxitudinal da barra (banda de plasmón lonxitudinal) e outra que se corresponde coas oscilacións transversais (banda de plasmón transversal). Na Fig. 8 pódense ver estas bandas acompañadas coas imaxes TEM nanobarras.

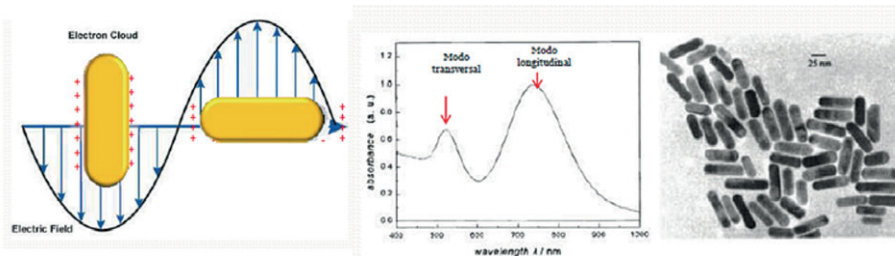


Fig. 8. Bandas de absorción de nanobarras e imaxes TEM das mesmas.

Indiquemos que a posición relativa destas bandas depende da chamada “*relación de aspecto*” (*aspect ratio* na terminoloxía inglesa) desas nanobarras, que ven sendo a relación entre os tama-

ños relativos lonxitudinal e transversal (ver na Fig. 9 a variación da posición relativa das bandas coa variación da “*relación de aspecto*”, valores de 2.4-5.6).

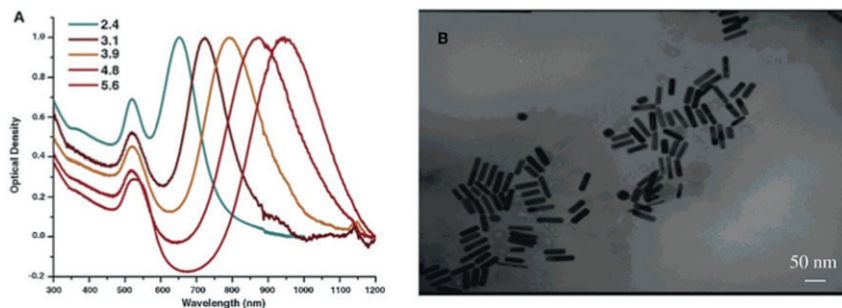


Fig. 9. Relación de aspecto de nanobarras de Au e imaxes TEM das mesmas.

## 6. ALGUNHAS APLICACIÓNS DAS NANOPARTÍCULAS DE OURO

A alta sensibilidade que presentan as *NPAu*, xunto coa súa biocompatibilidade, constitúen e explican o enorme éxito das súas aplicacións e o interese por estudar con máis profundidade este fenómeno en medios biolóxicos. A modo de exemplo sinalaremos (ver Fig. 7) a banda *SPR* (*Resonancia de Plasmón Superficial*) dunha *NPAu* esférica de 12 nm que se sitúa no entorno dos 530 nm de lonxitude de onda; pero que se pode modular a súa aparición no espectro en función do tamaño; estas *NPAu* absorben entre o visible e o infravermello cercano. As *NPAu* orixinan tanto absorción como dispersión da luz e a importancia relativa de cada fenómeno é función do tamaño das nanopartículas.

Cómpre sinalar que a forma das *NPAu* inflúe nas frecuencias das bandas de plasmón que presentan; seguindo a teoría do fenómeno *SPR*, as frecuencias de plasmón das partículas esféricas nin son iguais nin se presentan na mesma zoa do visible que as correspondentes ás nanobarras e a outras posibles formas. É polo tanto importante estudar como son as *Bandas de Plasmón* nunha nanobarra.

Na Fig. 8 indicouse como é o comportamento dunha nanobarra no seu *SPR*; vese como presenta dúas *bandas de plasmón*: unha, a *banda de plasmón transversal*, preséntase a números de onda máis baixos (sobre 500 nm) e outra, a *banda de plasmón lonxitudinal*, aparece a números de onda máis altos (sobre 740 nm). Na Fig. 9 representamos eses espectros de absorción de nanobarras que exemplifican a súa “*relación de aspecto*”, amosándose a sensibilidade, para estes parámetros, da intensidade e da posición da banda lonxitudinal.

Para rematar con este apartado recolleamos na Fig. 9 as zonas e a marxe das zonas espectrais (entre o visible e o infravermello cercano) nas que se presentan as bandas de plasmón para as diferentes polimorfías que poden amosar as *NPAu*.

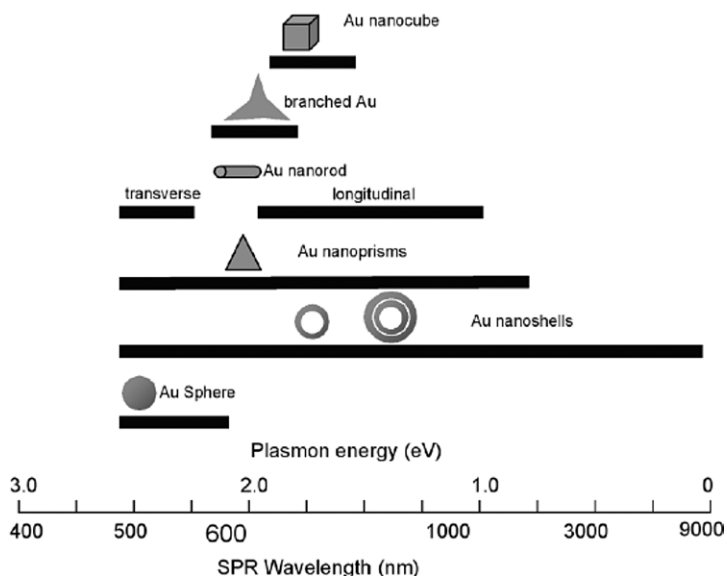


Fig. 10. Posición das bandas de plasmón das *NPAu* dependendo da forma.

Resaltemos finalmente que algunhas das polimorfías das nanopartículas –as nanobarras particularmente- presentan bandas no IR cercano o que están permitindo bioaplicacións moi interesantes.

Algunhas aplicacións das *NPAu* son, neste momento, moi interesantes e variadas; como exemplo ilustrativo citaremos:

- A súa utilización para conseguir o aumento da eficiencia das celas fotovoltaicas.
- O seu emprego na catálise (fotocatálise) de procesos de eliminación de refugallo industriais.
- O seu uso como sensores químicos moi eficientes na detección de analitos.
- O seu emprego nas tecnoloxías da información (ler e escribir información dun modo máis compacto).
- As aplicacións en biomedicina (diagnose das enfermidades e terapia das mesmas).

### 6.1. As *NPAu* como sensores químicos

Indicadas as propiedades fotoquímicas das *NPAu* é doado comprender a súa utilidade como sensores moi sensibles e versátiles na detección de moitos analitos. A modo de exemplo indiquemos que, ata hoxe, detectar a presenza de potasio en medios coa presenza doutros metais alcalinos e en moi pequena proporción respecto deles non era un problema doado de resolver; pero hoxe pode resolverse utilizando sondas de *NPAu*.

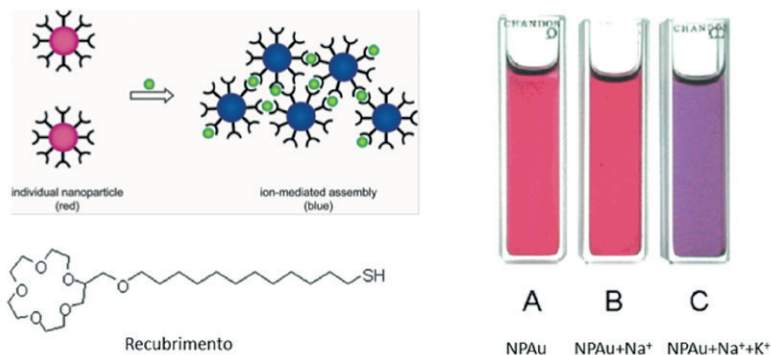


Fig. 11. Sensor dunha NPAu para detectar  $K^+$   
 (adaptado de Sui-Yi Lin *et al.*, *Anal. Chem.* **2002**, 74, 330).

Na Fig. 11 preséntase unha sonda de nanopartículas de ouro que se comporta como un sensor colorimétrico para ions  $K^+$  nun medio con moi variados ións ( $Li^+$ ,  $Cs^+$ ,  $NH_4^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,...) e, para complicalo máis, cun gran exceso de  $Na^+$ . O sensor empregado ten unha sensibilidade de  $7-6 \cdot 10^{-6}$  M e, como se ve na Fig. 11, é unha NPAu recuberta dun tiol que leva un éter coroa (o 15-coroa-5) nun extremo. É este éter coroa o que forma unha molécula tipo sándwich (ver Fig. 11) que despraza dun modo moi significativo a banda de plasmón. O sensor é de cor vermella e continúa a selo na presenza dun gran exceso de  $Na^+$ ; pero cambia a azul na presenza de moi cativas cantidades de  $K^+$ : a razón radica no feito de que o ion  $K$ , forma unha interesante molécula sándwich co ligando éter coroa, desprazando significativamente a banda de absorción da nanopartícula libre.

Outro exemplo moi interesante, do uso como sensor químico das NPAu, é o sensor integrado por un punto cuántico (PC) e unha NPAu recuberta con ácido cítrico que serve como un sensor moi específico e selectivo do ion  $F^-$  en moitos medios, o que vai servir para a súa doada identificación.

Na Fig.12 amosamos un sensor integrado polo PC (CdTe/ácido etilenglicol) e unha NPAu recuberta con ácido cítrico

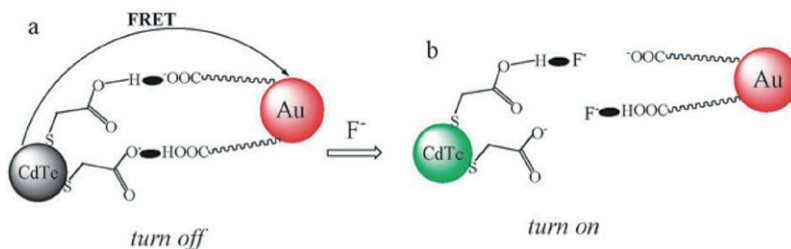


Fig. 12. Sensor mixto de NPAu e PC  
 (Mei Xue *et al.*, *Chem Commun.*, **2011**, 47, 4986).

Ambos sistemas forman un sensor apagado (*turn off*), debido ao efecto FRET que orixina o enlace de hidróxeno que se forma entre o PC e a NPAu. Cando na disolución que contén este sensor se engade fluoruro, este ion racha o enlace de hidróxeno que existía e o PC acende no verde.

Moi cativas cantidades de fluoruro son identificadas polo acendido deste sensor e, como se pode ver na Fig. 13, prodúcese un drástico incremento da fluorescencia do *PC* a medida que se incrementa a concentración do ion fluoruro no medio, o que servirá para a súa doada identificación.

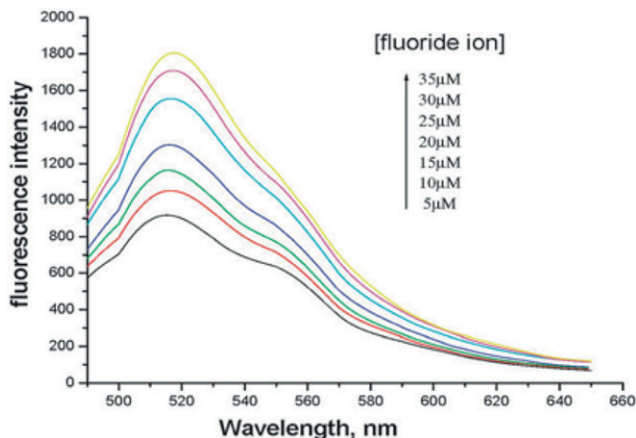


Fig. 13. Intensidade da fluorescencia do sensor mixto en presenza de  $F^-$ .

## 6.2. As *NPAu* na Biomedicina

As aplicacións das *NPAu* no mundo da medicina son tan importantes ou máis que as anteriores aplicacións citadas como sensores. Na Fig. 14 presentamos un posible diagrama para mellor entender a complexidade e a importancia destas aplicacións

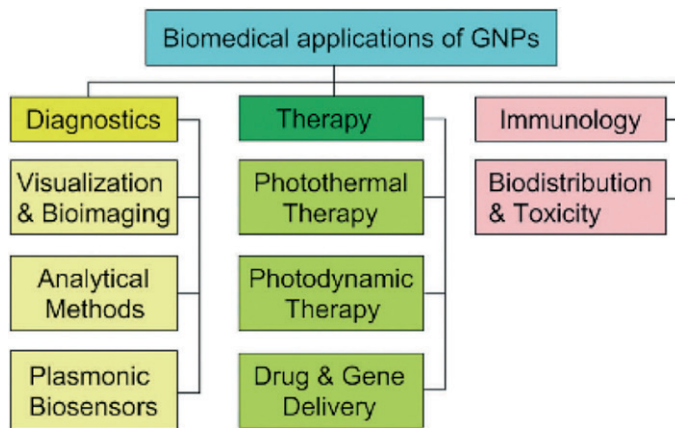


Fig. 14. Aplicacións biomédicas das *NPAu*  
(L. Dykman *et al.*, *Chem. Soc. Rev.*, **2012**, 41, 2256).

Para poder realizar todas estas aplicacións biomédicas é necesario recubrir as *NPAu* con ligandos axeitados para todas e cada unha desas posibles aplicacións. Cómpre funcionalizar as *NPAu* de modo que poidan cumprir as funcións para as que se queren utilizar. A estratexia que se segue para obter as *NPAu* funcionalizadas, logo de sintetizalas polos procedementos de síntese habi-

tuais, consiste en modificar a súa superficie de recubrimento e, esta modificación, pódese realizar de moitos xeitos: xerar o recubrimento “*capa por capa*”, usando as máis variados polielectrolitos; substituíndo o recubrimento polos máis variados tioles ou recubriendo as nanopartículas por outros ligandos axeitados para o fin proposto.

Na técnica “*capa por capa*” as *NPAu* preparadas, e complexadas por CTBA (bromuro de hexadeciltrimetilamonio), vanse recubriendo con poliácridatos aniónicos (PAA) a un pH determinado para que, logo, se poda cambiar ese ligando por outro polielectrolito catiónico -como o hidrocloreto de polialilamina (PAH)-, tal e como se recolle na Fig. 15.

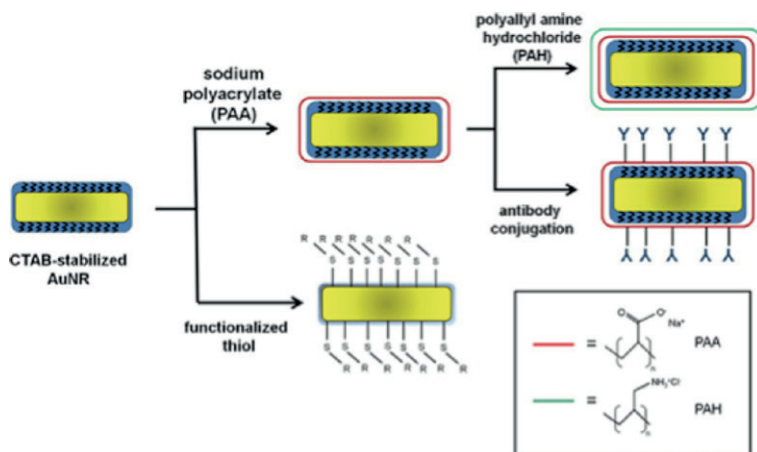


Fig. 15. Estratexias para a funcionalización de nanobarras de ouro.

A vantaxe que amosan este novos grupos funcionais é que ofrecen a oportunidade de enlazar covalentemente anticorpos ou outras proteínas ás *NPAu* posibilitando a súa biconxugación. Na Fig. 16 indícanse diversas estratexias de bioconxugación, para conseguir a penetración das paredes celulares por parte de variadas *NPAu*.

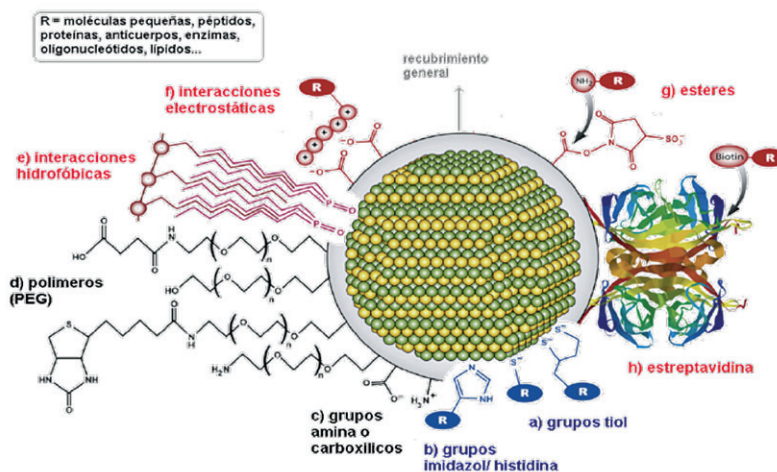


Fig 16. Estratexias de bioconxugación das *NPAu*

(W.R. Algar *et al.*, *Analytica Chimica Acta*, **2010**, 673, 1).

Un exemplo da capacidade que amosan as *NPAu*, axeitadamente recubertas por bioconjugación, para penetrar paredes celulares de organismos vivos preséntase na Fig. 17.

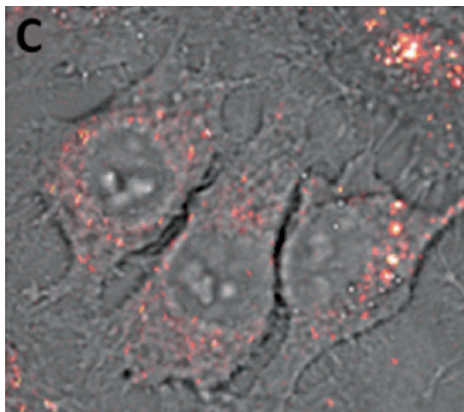


Fig. 17. Nesta figura ilústranse células HeLa expostas a *NPAu* recubertas dun péptido (A. Taylor *et al.*, *Chem. Soc. Rev.* **2012**, 41, 2707).

Nesta Fig. 17 ilústrase a capacidade de penetración das *NPAu* en células canceríxenas tipo HeLa. Trátase de *NPAu* con tamaño de 5 nm, recubertas cun péptido modificado con PET (polietilenglicol) que, como se pode observar na imaxe, se introducen doadamente no interior das células canceríxenas e se distribúen ao redor do núcleo. A imaxe está tomada facendo uso da microscopía fototérmica aproveitando as propiedades de absorción de radiación que teñen estas nanopartículas, o que facilita o seu queceamento e o cambio do índice de refracción do seu entorno.

## 7. REMATE

Moitas outras interesantes aplicacións poderíamos amosar para poñer de manifesto a importancia actual das *NPAu*, máis cremos que abonda con todo o indicado para espertar o voso interese. Este artigo tiña como obxectivo en primeiro termo, presentarvos o estado actual do tema das *Nanopartículas Metálicas*, pero de modo particular pretendía iniciaros no tema para que, quen estea interesad@, poida afondar mais na comprensión deste interesante tema da actualidade na química inorgánica.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- M. Faraday, *Philos. Trans. R. Soc. London*, **1857**, 147, 145.
- C. B. Murray *et al.*, *J. Res. & Dev.*, **2001**, 45, 47.
- S.-Y. Lin *et al.*, *Anal. Chem.*, **2002**, 74, 330.
- E. R. Goldman *et al.*, *JACS*, **2002**, 121, 6378.
- X. Gao *et al.*, *Nan. Biotech.*, **2004**, 22, 969.
- R. E. Bayley *et al.*, *Physica E*, **2004**, 25, 1.
- I. L. Medintz *et al.*, *Nature Material*, **2005**, 4, 435.

- J. M. Costa Fernandez *et al.*, *Trends Anal. Chem.*, **2006**, 25, 207.
- S. Y. Song, *Korean Gastroenterol.*, **2007**, 49, 271.
- L. Treguer-Delapierre *et al.*, *Gold Bulletin*, **2008**, 41, 195.
- Z. Xu *et al.*, *Chem. Mater.*, **2009**, 21, 1778.
- I. Ojea-Jimenez, *J. Phys. Chem C*, **2010**, 114, 1800.
- W. R. Algar *et al.*, *Anal. Quim. Acta*, **2011**, 673.
- Y Li *et al.*, *JACS*, **2011**, 133, 2092.
- Z. R. Stephen *et al.*, *Mater. Today*, **2011**, 14, 330.
- Mei Xue *et al.*, *Chem Commun.*, **2011**, 47, 4986.
- A. M. Alkilani *et al.*, *Acc. Chem. Res.*, **2012**, 22, 8345.
- A. Taylor *et al.*, *Chem. Soc. Rev.*, **2012**, 41, 2707.
- G. Liu *et al.*, *Small*, **2013**, 9, 1533.
- L. Dykman *et al.*, *Chem. Soc. Rev.*, **2012**, 41, 2256.
- C. Yuan *et al.*, *Anal. Chem.*, **2012**, 84, 9792.
- a) A. M. González Noya, M. Maneiro, R. Pedrido e M. R. Bermejo, “Os Nanomateriais Inorgánicos” en XXVIII Congreso de ENCIGA-Boletín das Ciencias, ENCIGA, N° 81, páx. 55, Sarria, **2015**; b) A. M. González Noya, M. Maneiro, R. Pedrido e M. R. Bermejo, “Que son os Nanomateriais Inorgánicos”, *Boletín das Ciencias*, ENCIGA, N° 83, páx. 55, **2016**; c) A. M. González Noya, M. Maneiro, R. Pedrido e M. R. Bermejo, “Que son as Nanopartículas Metálicas” en XXIX Congreso de ENCIGA-Boletín das Ciencias, ENCIGA, N° 82, páx. 35, Negreira, **2016**.
- N. Feliu *et al.*, *Chem. Soc. Rev.*, **2016**, 45, 2440.