

Síntesi i aplicacions de les nanopartícules

Synthesis and applications of nanoparticles

Yolanda Fernández (yfernand@xtec.cat) Institut Mercè Rodereda, L'Hospitalet de Llobregat
Nil Beascochea (nil.beascochea@gmail.com) Institut Mercè Rodereda, L'Hospitalet de Llobregat
Judith Sáiz (judith31701@gmail.com) Institut Mercè Rodereda, L'Hospitalet de Llobregat
Sonia Urbaneja (sstyles774@gmail.com) Institut Mercè Rodereda, L'Hospitalet de Llobregat

En aquest article, es presenta un treball de recerca, de segon de Batxillerat, on s'ha realitzat la síntesi de nanopartícules d'or i de plata i s'han estudiat les seves propietats i aplicacions.

Paraules clau: treball de recerca, nanotecnologia, nanopartícules, toxicitat, sensor.

This article presents a baccalaureate (post-secondary education) research project where gold and silver nanoparticles have been synthesized and several of its properties and applications have been studied.

Key words: research project, nanotechnology, nanoparticles, toxicity, sensor.

INTRODUCCIÓ

La nanotecnologia és l'estudi, disseny, síntesi, creació, manipulació i aplicació de materials a mesura nanomètrica (és a dir, 10^{-9} metres). La matèria, a aquesta escala tan petita, té unes característiques específiques. Degut a la seva mida, forma i composició química, la matèria es comporta de manera totalment diferent de com ho fa a escala macroscòpica. Una mida tan petita implica més reactivitat, més poder de penetració o de filtració. Els nanomaterials presenten –també– més superfície exposada que el mateix material a escala macroscòpica. Podem trobar, per exemple, que materials com l'or que –a nivell macroscòpic– té un típic color groc, pot ésser de colors molt diferents a nivell nano.

Aprofitant les característiques específiques de la nanotecnologia, la indústria busca aconseguir noves formes de fabricar materials que ens facin la vida més fàcil. Actualment, trobem aplicacions en sectors com l'electrònica, el medi ambient, l'energia o la medicina. Per exemple, s'aprofiten les propietats antifúngiques i bactericides de les nanopartícules de plata per dissenyar instrumental mèdic o els diferents colors que poden adoptar les nanopartícules d'or per fer-les servir com a

detectors d'hormones (test d'embaràs) o d'alguns tipus de càncer. La nanotecnologia és una ciència en expansió que es troba fora dels currículums actuals i per això es molt interessant explorar-la dins un treball d'investigació.

En aquest treball hem sintetitzat nanopartícules d'or i plata i hem estudiat l'efecte de les nanopartícules de plata sobre els fongs, l'efecte de les nanopartícules de plata sobre els bacteris i la utilització de les nanopartícules d'or com a sensor de salinitat.

SÍNTESI DE NANOPARTÍCULES

La síntesi de nanopartícules pot ser realitzada per dos procediments: *top-down* i *bottom-up*. En el primer mètode es parteix d'una estructura gran que es va reduint de grandària mitjançant el tall o la mòlta fins a arribar a escala nanomètrica. Nosaltres hem utilitzat el mètode *bottom-up* que consisteix en la construcció d'estructures a partir de la unió, àtom a àtom, o molècula a molècula.

Per al nostre treball de recerca, hem sintetitzat les nanopartícules d'or (AuNP) seguint un procés químic: primer, reduint l'or amb un agent reductor fins a la mida nanomètrica i després, evitant

l'excessiva agregació de les partícules amb un agent estabilitzant. El mètode utilitzat s'anomena Mètode de Turkevich. Aquest mètode consisteix en la reducció i estabilització d'àcid cloroàuric trihidratat ($\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) mitjançant citrat trisòdic dihidratat ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) on aquest últim realitza a la vegada les funcions d'agent reductor i estabilitzador. El procediment és el següent:

- Hem preparat una dissolució de $\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ amb una concentració de 1mM, dissolent 0,1g de $\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ en aigua destil·lada en un matràs aforat de 500mL;
- Seguidament, hem preparat una dissolució de $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ amb una concentració de 1M i, per això, hem pesat en una balança 0,5g de $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ i els hem dissolt en aigua destil·lada en un matràs aforat de 50mL;
- A continuació, hem col·locat un vas Erlenmeyer de 50mL a una placa calefactors amb agitador magnètic i hem pipetejat 20mL de la solució 1mM de $\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, en aquest cas pipetejant dos cops 10mL per falta de pipetes aforades de 20mL, i seguidament abocant-ho al vas i introduint-hi l'agitador magnètic. Aleshores, hem engegat la placa calefactors i l'agitador magnètic i hem esperat a que la solució arribi al seu punt d'ebullició.
- Mentre esperàvem a que la solució arribés al seu punt d'ebullició, hem pipetejat 2mL de la solució 1M de $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ i, un cop la solució del vas Erlenmeyer ha arribat al seu punt d'ebullició, hem abocat els 2mL. Aleshores, s'ha començat a produir la reacció de reducció de l'or, mentre la solució varia de color. Finalment, hem esperat a que la solució fos d'un color vermell fort i, un cop s'hi ha tornat, hem apagat la placa calefactors i l'agitador magnètic i hem enretirat la solució de nanopartícules d'or, ja enllestida.

Hi ha diferents mètodes per l'obtenció de nanopartícules de Ag (AgNP). Nosaltres hem utilitzat el mètode que consisteix en una variació del mètode Turkevich per a l'obtenció de nanopartícules d'or, en el qual s'empra AgNO_3 en lloc de HAuCl_4 com a precursor metàl·lic i -de nou- citrat trisòdic dihidratat ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), que fa les funcions d'agent reductor i estabilitzador.

Tots els productes necessaris per la síntesi de les nanopartícules es poden trobar fàcilment a les empreses que subministren els productes químics als instituts.

El fet que les dissolucions de nanopartícules siguin col·loïdals permet caracteritzar-les mitjançant l'efecte Tyndall. En una dissolució col·loïdal, les partícules reflecteixen i refracten la llum, de manera que el raig es visualitza a través de la dissolució tal com és mostra a la figura 1, la qual cosa no succeeix amb una dissolució verdadera.

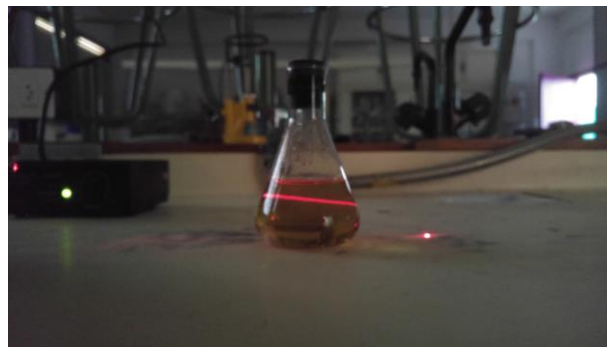


Figura 1. Efecte Tyndall al passar un raig de llum per una dispersió col·loïdal (en aquest cas es tracta de les AgNP preparades al nostre laboratori)

EFFECTES DE LES NANOPARTÍCULES DE PLATA SOBRE ELS FONGS

Les nanopartícules de plata tenen acció antifúngica, embolcallen la membrana del fong, detenint la divisió cel·lular i impeding, per tant, la seva reproducció.

Per comprovar l'efecte de les nanopartícules de plata sobre els fongs, hem plantejat el següent experiment, utilitzant nanopartícules de plata del kit Nanoeduca (proporcionat pel Centre de Recursos de l'Hospitalet i que tenen una concentració de 250 ppm) i les AgNP sintetitzades per nosaltres: es tracta de barrejar sucre i llevat (un fong) en un medi aquós i estudiar la producció de CO_2 . Comprovarem si la presència de nanopartícules en el medi influencia en la producció de CO_2 .

Per realitzar l'experiment hem fet el muntatge de la figura 2.

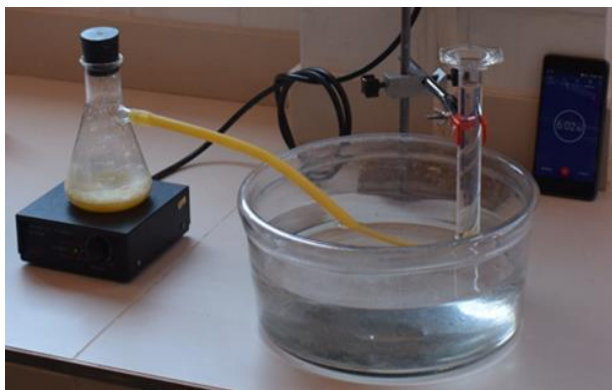


Figura 2. Muntatge de l'experiment.

En primer lloc, hem barrejat dins del matràs Erlenmeyer 1 g de llevat i 5 g sucre i hem sotmès la mescla a agitació durant 15 minuts, anotant la quantitat de diòxid de carboni recollida en la proveta sense presència de nanopartícules. A continuació hem repetit l'experiment amb la mateixa quantitat de llevat i sucre però afegint 5mL de dissolució de AgNP de diferents concentracions obtingudes a partir de la dilució de les dissolucions originals.

Com a resultat hem obtingut el gràfic que es mostra a la figura 3.

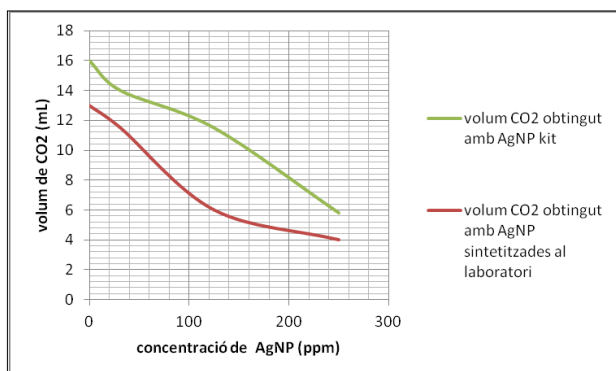


Figura 3. Gràfic on es mostra el volum de CO₂ obtingut en funció de la concentració de les nanopartícules.

Tal i com es pot veure en la figura 3, independentment de l'origen de les AgNP, s'observa que a l'augmentar la concentració de les AgNP, el volum de CO₂ disminueix, la qual cosa ens indica que les nanopartícules interfereixen en el procés de fermentació.

EFFECTES DE LES NANOPARTÍCULES SOBRE ELS BACTERIS

Les nanopartícules de plata tenen també la propietat de ser antibacterianes, impeding la respiració i la capacitat de reproducció dels bacteris. Amb aquest experiment busquem comprovar l'efecte bactericida de les nanopartícules de plata. En aquest experiment hem observat el creixement de bacteris en un medi gelatinós amb la presència o absència de AgNP.

Primer de tot, hem posat mig litre d'aigua en un vas de precipitats i l'hem escalfat a la placa calefactora. A continuació, hem afegit 3 làmines d'agar-agar dissolent-les amb l'ajuda d'una vareta. Aquesta dissolució gelatinosa l'hem col·locat sobre dues plaques de Petri.

Hem deixat refredar la dissolució a les plaques i una vegada s'ha tornat compacta, amb un bastonet, hem traspassat els bacteris de les nostres mans a les dues plaques de Petri. Per comprovar l'efecte de les nanopartícules, hem deixat una placa sense cap mena de tractament contra els bacteris i l'altre l'hem recobert d'una pel·lícula fina de nanopartícules de plata. Finalment, hem deixat reposar les plaques durant dues setmanes.

Hem realitzat aquest experiment amb les nanopartícules del kit i amb les que hem sintetitzat nosaltres.

	Creixement bacteris	Foto
Sense nanopartícules	SI	
Nanopartícules de plata (kit)	NO	
Nanopartícules de plata (laboratori)	NO	

Figura 4. Taula amb els resultats obtinguts en l'experiment de cultiu de bacteris.

Tal com havíem suposat, les nanopartícules de plata han impedit el creixement de bacteris, independentment del seu origen, com es pot veure a la figura 4.

CREACIÓ D'UN SENSOR COLORIMÈTRIC DE SALINITAT

En aquest experiment, hem construït un sensor colorimètric de salinitat aprofitant la ressonància del plasmó de superfície que presenten les nanopartícules d'or. La idea ha estat fer un sensor que mesurés la quantitat de sal en una dissolució a partir del color que s'obté al mesclar la dissolució amb nanopartícules d'or. Al barrejar-les amb una dissolució salina el color canvia i ho fa de manera diferent segons quina sigui la concentració de la dissolució de sal. Aquest canvi de color, es deu al canvi en la mida de les nanopartícules a causa de la interacció dels ions Na^+ amb el citrat que estabilitzava els agregats.

Per tal de quantificar la coloració del sensor i que no sigui simplement una qüestió visual, hem fet servir dos mètodes: espectrofotometria visible (amb l'espectrofotòmetre proporcionat pel servei de préstec del CESIRE) i una aplicació mòbil gratuïta anomenada COLORGRAB®.

Per començar l'experiment hem preparat diferents dissolucions de sal de les següents concentracions: 0,25%, 0,75%, 1,25%, 2,5%, 5% i 10%. Hem barrejat 1mL de nanopartícules d'or amb 2mL de cadascuna de les dissolucions salines. A cadascuna de les dissolucions resultants se li ha realitzat un espectre d'absorció i una fotografia. També ho hem fet amb la dissolució de nanopartícules sola (0% NaCl). D'aquesta manera hem obtingut el patró.

A continuació, hem barrejat 2mL d'aigua de mar (de concentració desconeguda) amb 1mL de nanopartícules d'or i hem realitzat l'espectre i la fotografia

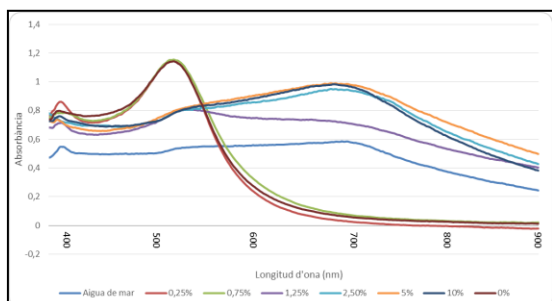


Figura 5. Variació de l'absorbància de les diferents dissolucions fetes en funció de la longitud d'ona mesurades amb l'espectrofotòmetre.

A la figura 5, podem observar com a mesura que augmenta la concentració de sal, es produeix un desplaçament del màxim d'absorció cap a longitud d'ones més elevades.

L'aigua de mar presenta el seu màxim d'absorció al voltant dels 687nm la qual cosa ens indica que la seva concentració estaria entre el 2,5% i el 5%, resultat que és compatible amb la concentració que es suposa que té l'aigua de la mar Mediterrània.

D'altra banda, amb l'aplicació Color Grab® hem preparat el patró de la figura 6. L'aspecte és similar al de les tires reactives que mesuren el pH. Podríem dir que ens trobem davant una tira reactiva digital.

L'aigua de mar ha adoptat una coloració que podem col·locar entre el 2,5% i el 5%, tal i com havia succeït amb l'anàlisi de l'absorbància.

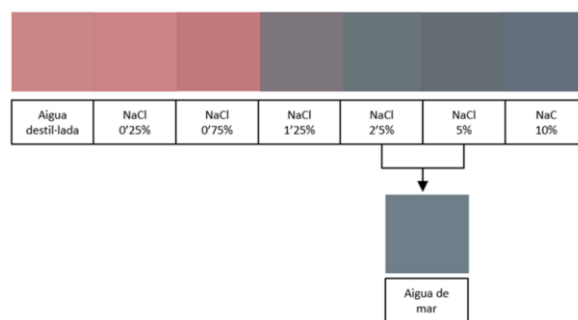


Figura 6. Variació del color de les dissolucions de nanopartícules d'or en funció de la quantitat de sal amb la que s'hi barreja.

Podem concloure, per tant, que les nanopartícules d'or ens poden servir per mesurar la concentració de sal d'una manera força exacta.

CONSIDERACIONS FINALS

Amb aquest treball hem estat capaços de sintetitzar nanopartícules de plata i d'or que hem fet servir per realitzar les nostres experiències.

Hem pogut valorar l'efecte de les nanopartícules de plata sobre els llevats, a partir d'una experiència en la que la mesura del volum de CO_2 ens ha servit com a indicador. A més concentració de nanopartícules de plata, menys producció de CO_2 , la qual cosa indica la interferència de les nanopartícules en els



processos biològics i ens dona idea de la toxicitat de les mateixes.

També hem pogut comprovar que la presència de nanopartícules de plata impedeix el creixement bacterià. Aquest fet pot permetre el desenvolupament de un gran ventall de dispositius dins la profilàctica mèdica.

En últim lloc, hem desenvolupat un sensor de salinitat amb nanopartícules d'or. Aprofitant el canvi de color de les dissolucions de nanopartícules d'or al barrejar-se amb solucions salines, hem establert un patró que relaciona la concentració de sal amb el color. Es pot saber la concentració de sal d'una mostra per comparació del seu espectre d'absorció amb el patró. Si no es disposa d'un espectrofotòmetre es pot realitzar la comparació amb l'aplicació mòbil Color Grab ®, molt més accessible.

Podem valorar que amb aquest treball hem fet una primera aproximació al món de la nanotecnologia que es presenta com un camp amb molt de futur. Aquest fet fa que els alumnes es sentin força motivats en la realització d'experiències relacionades amb el nanomón.

De cara a ampliar els experiments es podria comprovar l'efecte de les nanopartícules sobre altres tipus de llevats. També es podria quantificar l'efecte sobre els bacteris amb un comptador de colònies.

Les nanopartícules d'or podrien servir per desenvolupar sensors per detectar diferents tipus de molècules com hormones o proteïnes marcadores de tumors. De fet, tota aquesta tecnologia s'utilitza actualment en els test d'embaràs, per exemple, i s'utilitzarà amb molta més intensitat en els propers anys.

BIBLIOGRAFIA

- Serena Domingo, P. (2010) *La Nanotecnología*. Madrid. Consejo Superior de Investigaciones Científicas; Los libros de la Catarata
- Poole, C., Owens F. (2007) *Introducción a la nanotecnología*. Barcelona: Reverté.
- Martín Galgo, J., Briones Llorente, C., Casero Junquera, E., Serena Domingo, P. (et al.) (2014) *El Nanomundo en tus manos: las claves de la nanociencia y la nanotecnología*. Barcelona: Crítica.