



# Los conglomerados metálicos

Asdrúbal Valencia Giraldo, investigador del grupo Materiales y Preciosos (MAPRE)

## INTRODUCCIÓN

Los conglomerados, apiñamientos o racimos metálicos (metallic clusters) son los agregados de átomos demasiado grandes para llamarlos moléculas y muy pequeños para que se parezcan a pedazos del material masivo del cual, por lo general, difieren en estructura u ordenamiento atómico. Además, pueden cambiar su estructura con la adición de un átomo o unos pocos, mientras que si se agregan nuevos átomos al sólido masivo no cambia su estructura, aunque en los cristales pueden ocurrir reacomodamientos superficiales por agregación de átomos adsorbidos, pero eso es generalmente menos notorio que los cambios que ocurren cuando los átomos se unen a los pequeños conglomerados.

Ha habido discusiones sobre el tamaño en el cual un conglomerado deja de serlo y adopta las propiedades del metal masivo, pero hay acuerdo general en que el tamaño de transición depende de la propiedad que se esté midiendo y se sabe que esto ocurre con unos pocos centenares de átomos, y los conglomerados que tienen menos de 100 fueron los más estudiados inicialmente. Comparados con el metal masivo, tales conglomerados muestran un potencial de ionización más elevado, menor punto de fusión, distancias más cortas entre átomos vecinos próximos y una diferente estructura icosaédral.<sup>[1]</sup>

Los conglomerados metálicos han tenido diversas aplicaciones, sobre todo por sus propiedades electrónicas –es decir ópticas y de conducción– así como catalíticas, pero hay muchos campos promisorios que apenas se investigan y desarrollan, los cuales hacen imperativo tener una idea de la natu-

raleza y propiedades de esta forma de la materia.

Desde el punto de vista científico, los conglomerados son de interés no solo por sus propiedades, sino también como modelos de sistemas metálicos más extensos, por ejemplo, representan parte de una superficie metálica (o de una masa) en modelos de quimisorción y reacciones en la superficie (difusión y reacción con el metal masivo).

## ESTRUCTURA Y MODELACIÓN

Inicialmente, la estructura de los conglomerados metálicos pequeños fue estudiada con dos enfoques: uno con el principal énfasis en el conglomerado como modelo del metal masivo<sup>[1-4]</sup> y otro con énfasis en el conglomerado per se.<sup>[4-13]</sup> En el primer caso, la geometría masiva se mantuvo, y propiedades como la energía cohesiva, la estructura de bandas y la energía de quimisorción se calcularon, a veces, como una función del tamaño del conglomerado. De otro lado, cuando el interés se enfoca en los conglomerados mismos, la geometría se optimiza con las menores restricciones posibles.

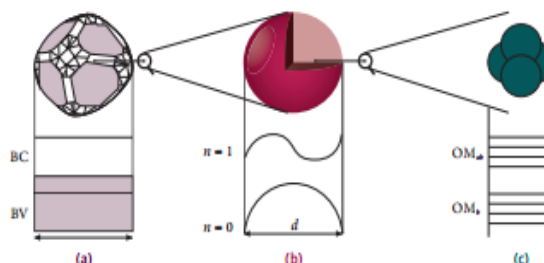
De la misma manera, algunos investigadores han considerado la evolución de los conglomerados desde los átomos y moléculas, en un enfoque de abajo hacia arriba y han usado cálculos de energía total para predecir los ordenamientos para conglomerados pequeños; esos estudios son útiles sobre todo en los no metálicos, como los conglomerados que contienen C y Si.

En el caso de los metales es más común considerar la evolución desde el estado masivo, en un enfoque de arriba hacia abajo, usando el llamado modelo de la jalea. Como se verá, este modelo explicó por qué



ciertos tamaños de conglomerados son más estables y dominan los espectros observados experimentalmente. Esos números de átomos se denominaron “números mágicos” y se demostró que eran consecuencia directa de la estructura de capas electrónicas de los conglomerados.

Los conglomerados de metales y semiconductores, donde la longitud de onda de los electrones es del mismo orden que el tamaño de la partícula, son de interés extraordinario porque se comportan electrónicamente como puntos cuánticos de cero dimensiones. Esto significa que las leyes de la física clásica, valiosas para los materiales masivos, deben sustituirse con las reglas de la mecánica cuántica. La transición en tamaños se esquematiza en la figura 1 donde se ilustra la situación electrónica para tres partículas diferentes. La situación en (a) es la de un estado electrónico cuasi desubicado de solape de las bandas de valencia (BV) y de conductividad (BC), como es el caso de un metal masivo. En los semiconductores existe una laguna entre ambas bandas, el tamaño de la cual determina la energía de las transiciones electrónicas del electrón para lograr conductividad. En el camino de (a) hacia (b), en el caso de un metal, el solape de BV y BC se hace continuamente más pequeño, terminando también como una laguna entre las bandas, como detallará más adelante. En (b) se ilustra la situación extrema, donde el diámetro de la partícula  $d$  corresponde a  $\lambda/2$  ( $\lambda$  = longitud de onda de Broglie). Este estado de energía se puede comparar con el orbital  $s$  de una átomo gigante de metal ( $n = 0$ ) que puede estar ocupado por dos electrones. El primer estado excitado ( $n = 1$ ) corresponde a un orbital  $p$ , etc. En (c) los orbitales moleculares de unión ( $OM_u$ ) y de separación ( $OM_s$ ) caracterizan los enlaces locales entre unos pocos átomos en un conglomerado molecular.<sup>[14]</sup> En este capítulo, como ya se indicó, el tema es la situación (b).



**Figura 1.** Ilustración de la transición de un metal masivo, vía nanoaglomerado, a una molécula. La estructura metálica de bandas en (a) un nivel discreto de electrones se convierte a un nivel discreto de electrones en (b), donde el diámetro de la partícula es del orden de la longitud de onda de Broglie. En (c) se muestran los orbitales moleculares de unión y separación ocupados por los electrones localizados en los enlaces.

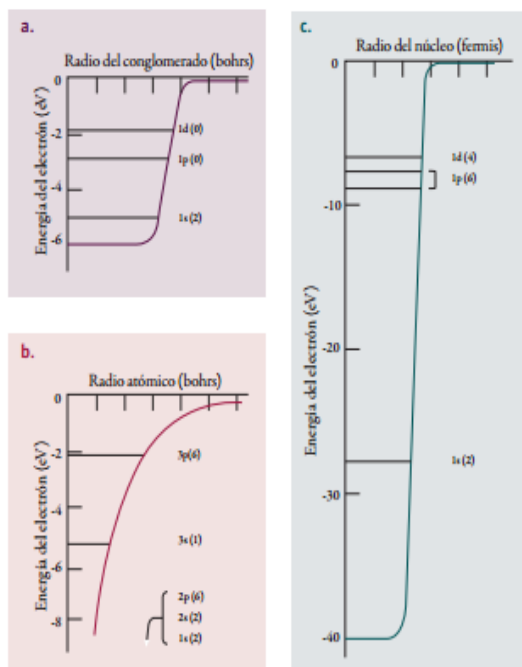
**Fuente:** Schmid, G. et al, “Current and future applications of nanoclusters”, Chem. Soc. Rev., Vol. 28, 1, p. 17.

La laguna de energía entre la banda de valencia y la de conducción es de importancia fundamental para las propiedades de los sólidos. De ella depende el comportamiento del material en relación con la conductividad intrínseca, las transiciones ópticas o las transiciones electrónicas. Cualquier cambio en la laguna puede alterar de manera significativa la física y la química del material. Esto ocurre cuando el tamaño del material se reduce a la escala nano, por tanto, la ciencia y la tecnología de los nanomateriales –y mucho más de los agregados metálicos– necesita tener en cuenta la laguna entre las bandas, que es diferente a la del material masivo y ese es uno de los grandes cambios que ocurren con el tamaño.

Los conglomerados de metales sencillos (de valencias bajas) se describen, principalmente, con dos modelos: el modelo del enlace apretado (orbital molecular) y el de las capas electrónicas. Los dos modelos pueden producir diferentes lagunas entre bandas para los agregados pequeños, y distintos tamaños críticos para la transición agregado - masivo.



Como se ha señalado, el modelo más común de los aglomerados es el de las capas electrónicas, donde el conglomerado se modela como un súper átomo, en cual los electrones de valencia están desubicados (distribuidos) en el volumen del conglomerado y llenando niveles discretos de energía. Los diagramas de energía en la figura 2 ilustran las analogías entre las estructuras de capas del núcleo, el átomo y el conglomerado.



**Figura 2.** Pozos de potencial y niveles de energía para los tres sistemas fermiónicos: (a) un conglomerado de sodio con ocho átomos; (b) un átomo de sodio y (c) un núcleo de sodio.

Hay varios grados de complejidad del modelo de las capas, entre los cuales está el modelo de la jalea, ampliamente aceptado,<sup>[15-16]</sup> porque es muy adecuado para los metales, como el sodio, donde los átomos forman enlaces con electrones itinerantes. Este modelo supone un fondo uniforme de carga positiva de los núcleos atómicos del conglomerado y sus electrones más internos, en el cual los electrones de valencia se mueven y están sometidos a un

potencial externo. Los pozos esférico y armónico, infinitamente profundos, son las formas más simples del potencial; el primero da una serie de números mágicos de 2, 8, 18, 20, 34, 40, 58, ... , y el segundo da la serie 2, 8, 20, 40, 70, ...<sup>[17]</sup>

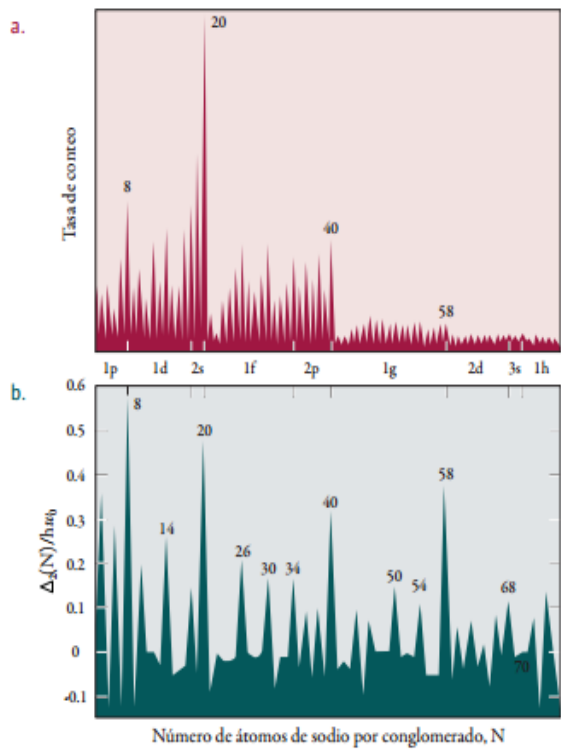
Sin embargo, para entender mejor el modelo de la jalea (MJ) es conveniente, primero, precisar algunos términos usados en la determinación teórica y experimental de los conglomerados metálicos.

**Espectros de abundancia de masa:** los espectros de masas se obtienen convirtiendo los componentes de una muestra en iones gaseosos que se mueven rápidamente en presencia de un campo electromagnético y se separan en función de su relación carga/masa. Un espectro de masas es una información bidimensional que relaciona la abundancia de cierto tipo de iones en función de la relación masa/carga de cada uno de ellos. Cuando se usan detectores contadores, el eje vertical no es la intensidad sino la tasa de conteo de iones y en el eje x se pueden representar variables distintas a la relación carga/masa, pero directamente relacionadas con ella, y son espectros de abundancia de masa.

Los espectros de abundancia de masa (como los de la figura 3a) son, en general, buenos indicadores de las energías relativas de enlace y otras propiedades electrónicas, pues, como se explica más adelante, representan capas de confinamiento “esféricas”, que ocurren cuando los niveles electrónicos están completamente llenos en los números mágicos. Sin embargo, los espectros pueden distorsionarse por efecto de las características de los aparatos y las temperaturas.

Hay que anotar que la identificación de los números mágicos y su interpretación en términos de la estructura en capas en pequeños conglomerados de sodio fue llevada a cabo en 1984, en la Uni-





**Figura 3.** (a) Espectro de abundancia medido para agregados de sodio que es comparable con (b) diferencia de energía de segundo orden, calculada entre agregados vecinos, en una secuencia.  
**Fuente:** Clemenger, K., "Ellipsoidal shell structure in free-electron metal clusters", *Physical Review B*, Vol. 32, No. 2, 185, p. 135

versidad de California en Berkeley, por Walter Knight y su grupo de colaboradores.<sup>[18]</sup> Esto fue lo que empezó la noción de poner el énfasis en el movimiento cuantizado de los electrones de valencia desubicados, en el campo promedio creado por los iones, como se ha indicado. La estructura iónica detallada a menudo parece que no se ve muy afectada por las propiedades del conglomerado de metal alcalino o de otros metales sencillos. Precisamente, llevado al extremo, este comportamiento es el que sugiere un modelo de jalea, que es definido por un Hamiltoniano que trata a los electrones como es usual, pero considera a los núcleos iónicos como un fondo uniforme cargado positivamente. Naturalmente que esto lleva a una des-

cripción del electrón en términos de funciones de onda de partículas singulares que se extienden por todo el conglomerado.<sup>[1, 20]</sup> El campo promedio de los electrones se puede calcular consistentemente en sí mismo en el modelo sencillo de la jalea esférica,<sup>[21, 22]</sup> lo que, en muchos casos, da los números correctos de las capas; o se puede parametrizar fenomenológicamente incluyendo los efectos de las deformaciones,<sup>[23]</sup> en analogía con el modelo nuclear de capas. De esta manera, usando enfoques relativamente sencillos del problema de muchos cuerpos, se puede clasificar una gran cantidad de datos experimentales sobre los conglomerados de metales de valencia sencilla y muchas veces se pueden reproducir teóricamente, al menos de manera semicuantitativa.

Se debe recordar que el potencial de ionización  $E_I$  es la energía necesaria para separar un electrón en su estado fundamental de un átomo, de un elemento en estado gaseoso. La reacción puede expresarse de la siguiente forma:



donde  $A_{(g)}$  son los átomos en estado gaseoso de un determinado elemento químico;  $E_1$  el potencial de ionización y  $\bar{e}$  un electrón.

Esta energía corresponde a la primera ionización. El segundo potencial de ionización representa la energía necesaria para sustraer el segundo electrón; este segundo potencial de ionización es siempre mayor que el primero, pues el volumen de un ion positivo es menor que el del átomo y la fuerza electrostática atractiva que soporta este segundo electrón es mayor en el ion positivo que en el átomo, ya que se conserva la misma carga nuclear.

Como los conglomerados neutros se tienen que ionizar para hacer posible la detección, conocer el potencial de ionización es fundamental para el proceso

PRODUCTOS | EXPERIENCIA | ASESORIA | ACOMPAÑAMIENTO | RESPALDO



Desde 1986, Soldaduras Industriales S.A.S. es una Empresa Comercializadora de los mejores insumos, equipos y accesorios para soldadura, metalización y corte de metales y seguridad industrial.

## PRODUCTOS

[ PROCESOS ]



### SOLDADURA

SMAW | TIG | MIG - FCAM  
SAW | OFW  
Insumos, Equipos y Accesorios



### METALIZACION

Llama | Arco Eléctrico | Plasma  
Insumos, Equipos y Accesorios



### CORTE

Mesas de corte, Discos, Insumos,  
Equipos y Accesorios



### SEGURIDAD INDUSTRIAL

Caretas, tapones, guantes,  
nangas, polainas, overoles, botas  
...

- TODO LO QUE UN USUARIO DE SOLDADURA REQUIERE -

## VENTAJAS COMERCIALES



INVENTARIOS  
[ DISPONIBILIDAD ]



CONOCIMIENTO  
[ ASESORIA ESPECIALIZADA ]



CUMPLIMIENTO  
[ DESPACHOS ]



TALLER  
[ REPARACION Y MMTO ]



COBERTURA  
NACIONAL

## SEDES

[ CUBRIMIENTO NACIONAL ]



CARTAGENA

[ KM 1 Vía Turbaco - Bod M4 ]



BARRANQUILLA

[ Cra 44 # 57 - 34 ]



ENVIGADO

[ Cra 48 # 26 sur - 181 | L135 ]



MEDELLIN

[ Cra 50 # 42 - 04 ]



BOGOTA

[ Cra 28A # 15 - 18 ]



SOGAMOSO

[ Cra 18 # 30 - 41 ]



CALI

[ Cl 21 # 2 - 30 | L5 ]



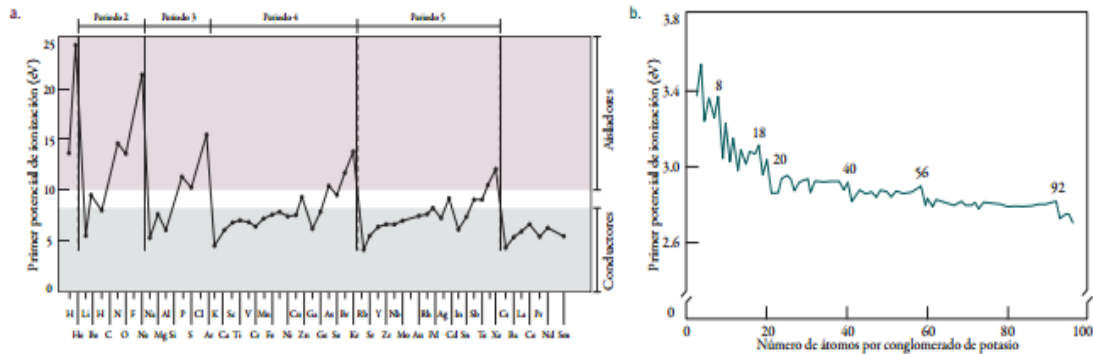
www.soldadurasindustriales.com



PBX [4] 40 30 7 50



envigado@soldadurasindustriales.com



**Figura 4.** Estructura de capas: (a) potenciales de ionización de los átomos, (b) potenciales de ionización para conglomerados de 3 a 100 átomos de potasio.

**Fuente:** Cohen, M. L. and W. D. Knight, "The Physics of Metal Clusters", Physics Today, december 10, p. 42.

de medida en muchos experimentos. Además los átomos se pueden clasificar fácilmente como metálicos, no metálicos o semiconductores simplemente en términos de sus potenciales de ionización (figura 4a). Un comportamiento similar se observa en los conglomerados cuando los potenciales de ionización se miden como función del número de átomos en un conglomerado (figura 4b).

Los potenciales de ionización umbrales para secuencias de conglomerados de metales alcalinos caen abruptamente siguiendo confinamientos esféricos o elipsoidales, figura 4b. La buena correlación entre los espectros de abundancia de masa y los potenciales de ionización correspondientes sirvió inicialmente para apoyar la idea de que los efectos de capa observados son de origen electrónico y que el modelo de la jalea era aplicable a los conglomerados de metales sencillos. Sin embargo, el ancho del umbral de ionización depende de la temperatura del conglomerado.

Es decir, para los conglomerados metálicos, con electrones que parecen libres, es la energía de estos electrones la que determina la estabilidad del conglomerado. Con esta visión, la energía asociada con las posiciones de los núcleos atómicos determina la estructura interna del conglomerado, pero esta energía

estructural solo provoca la perturbación de la energía total. Como se ha repetido, el modelo de la jalea reemplaza los iones con un fondo positivo uniforme e ignora la periodicidad, es decir la estructura discreta (sólido desestructurado). Los electrones de valencia están así confinados por este fondo de carga positiva, cuya densidad de energía ( $e^+U_0$ ) es cancelada por la contribución electrónica ( $e^-U_0$ ) para fijar la neutralidad de la carga. Así este sistema está caracterizado por el parámetro del gas electrónico,  $r_s$ , que es el radio de un volumen por electrón, medido en unidades del radio de Bohr,  $a_0$  (bohrs). Por tanto:

$$\frac{4}{3} \pi (r_s a_0)^3 = \frac{1}{\rho_0} = \frac{\Omega}{N} \quad (2)$$

Donde  $N$  es el número total de electrones (igual al número total de átomos para el caso de los metales monovalentes) y  $\Omega$  es el volumen del sólido. La energía total (la cinética, la de intercambio y la de correlación) está dada entonces por:

$$E_e = \frac{2.2099}{r_s^2} - \frac{0.9163}{r_s} - [0.094 - 0.0622 \log(r_s)] \quad (3)$$

Esta expresión para la energía es precisa a medida que  $r_s$  se aproxima a cero, en el caso de sólidos masivos. Sin embargo, si hay que tener en cuenta los efectos superficiales, entre otros factores, el con-





finamiento de la jalea y los electrones en regiones esféricas o elipsoidales produce la estructura de capas. En la figura 5 se muestran algunos modelos cuánticos sencillos para ilustrar la estructura de capas. Para un modelo de oscilador armónico tridimensional, los niveles de energía están espaciados igualmente. Cuando se incluyen las degeneraciones en este modelo, hay estructura de capas en la ocupación de los niveles de energía de los electrones; es decir, los niveles degenerados están separados por lagunas amplias. Se encuentra un resultado similar para un pozo de potencial cuadrado tridimensional, pero con niveles de energía espaciados desigualmente.

Un modelo que da resultados similares a los encontrados en los cálculos con la jalea autoconsistente es intermedio entre los modelos del oscilador armónico y el pozo cuadrado. En este modelo los niveles de

energía están caracterizados por los números cuánticos principal y de momento angular ( $n, l$ ). Sin embargo, a diferencia con el modelo para átomos, donde  $l$  debe ser menor que  $n$ , en este caso o hay restricciones entre los valores relativos de  $l$  y  $n$  porque el potencial no es de la forma de Coulomb. Los niveles sucesivos de energía (y sus degeneraciones) para el modelo intermedio son  $1s(2)$ ,  $1p(6)$ ,  $1d(10)$ ,  $2s(2)$ ,  $1f(14)$ ,  $2p(6)$ ,  $1g(18)$ ,  $2d(10)$ ,  $3s(2)$ ,  $1h(22)$ ,  $2f(14)$ ,  $3p(6)$ ,  $1i(26)$ ,  $2g(18)$ .

Entonces, a medida que los electrones llenan las capas, el encerramiento ocurre para números totales de electrones de 2, 8, 18, 20, 34, 40, 58, 68, 70, 2, 106, 112, 138, 156, etc. En los conglomerados de metales alcalinos o de metales nobles cada átomo contribuye con un electrón, el cerramiento de las capas o conchas ocurre para números de átomos que concuerden con esta serie. Las energías totales deben ser bajas para los conglomerados que tienen estos "números mágicos" tamaños y, por tanto, los conglomerados de esos tamaños se espera que sean particularmente estables. La energía total calculada con el modelo de la jalea disminuye en los números mágicos cuando se comparan con los espectros de abundancia de masa

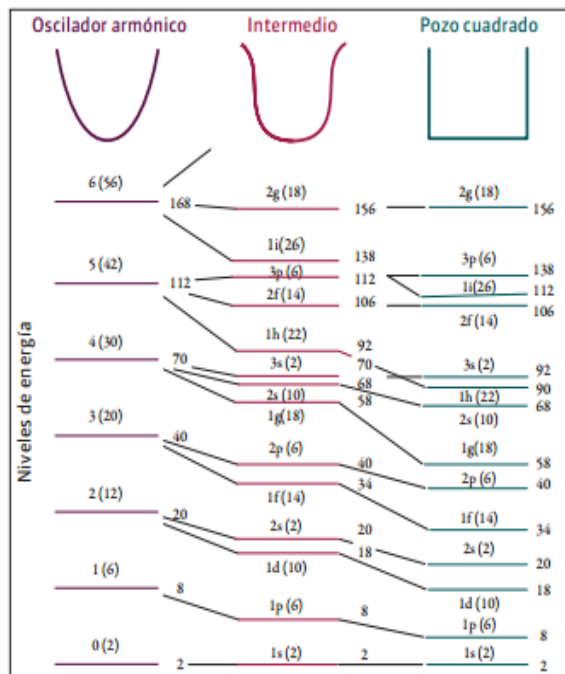


Figura 5. Niveles de energía para los tres modelos.

Fuente: Cohen, M.L. and W. D. Knight, "The Physics of Metal Clusters", Physics Today, December 10, p. 42.

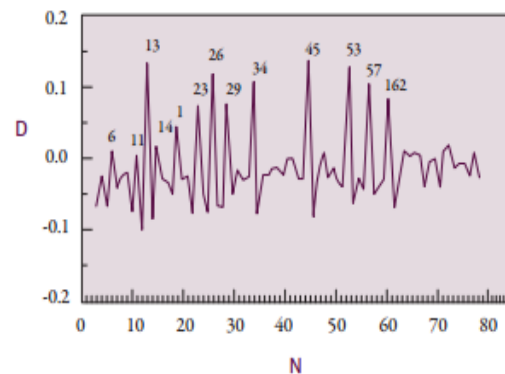


Figura 6. Abundancia D vs. tamaño del apilamiento N cuando se parametriza la energía.

Fuente: <http://www.theory.nipne.ro/CMP/movies/movies/atomic/node6.html>



y esta fue la primera confirmación de la validez del modelo de la jalea para los conglomerados metálicos. Para un caso dado, en la figura 6 se ve el espectro de abundancia de masas que muestra picos para  $N = 6, 11, 13, 15, 19, 23, 26, 29, 34, 45, 53, 57, 61$ ...y en la figura 7 los correspondientes conglomerados para esos números mágicos.

Para configuraciones de concha abierta (como las elipsoidales) se debe incluir un parámetro de distorsión y ello provoca un desplazamiento de la energía, el cual puede usarse para estimar la forma de los conglomerados. No hay limitación de tamaño en los cálculos con jalea esférica porque no se necesita optimizar la estructura. Cada especie atómica está caracterizada por un  $r_s$  diferente, y se realizan los cálculos autoconsistentes para cada  $N$ . Para la jalea no esférica, hallar la forma óptima implica varias iteraciones, es decir, cálculos más complicados.<sup>[24-30]</sup>

El modelo de la jalea supone que los electrones de valencia en los conglomerados son itinerantes e interactúan con una distribución de carga simétrica esférica. Sin embargo, a pesar de los efectos de apantallamiento, el potencial electrostático que surge de los iones discretos en un conglomerado en elementos como el Na no se espera que sea esféricamente simétrico.

En los conglomerados, propiedades como los potenciales de ionización, la polarizabilidad, las propiedades ópticas y la resonancia de plasma se describen mejor en términos de estados excitados. Para investigar las propiedades de los sólidos en estado excitado generalmente se usa el enfoque de la densidad local.

#### OBTENCIÓN DE LOS CONGLOMERADOS

Hay que recordar que un ligando es un ion o molécula que se une a un átomo central de metal para formar un complejo de coordinación. El enlace entre el metal y el ligando generalmente involucra la donación de

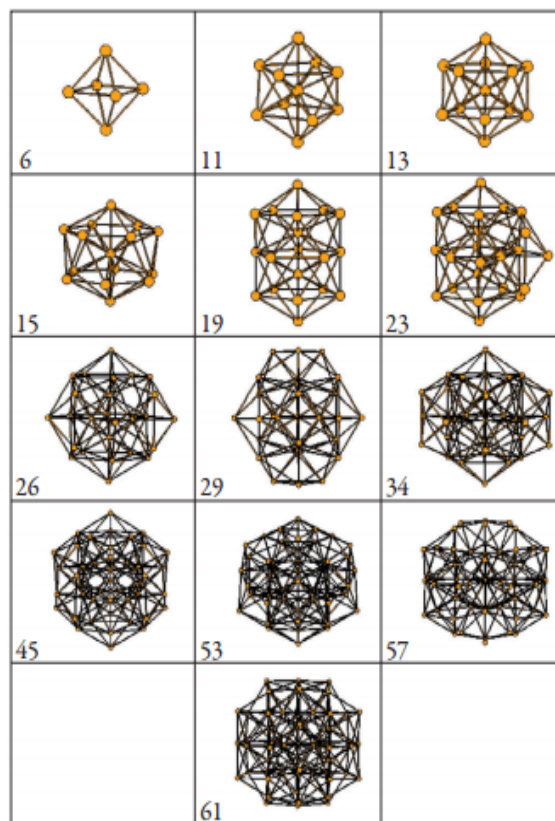


Figura 7. Conglomerados correspondientes a los números mágicos de la figura 6.

Fuente: <http://www.theory.nipne.ro/CMP/movies/movies/atomic/node6.html>

uno o más de los pares de electrónicos del ligando. La naturaleza del enlace metal-ligando va desde el enlace covalente al enlace iónico. Los metales y metaloides se unen a ligandos en casi todas las circunstancias, aunque se pueden generar iones metálicos “desnudos” en alto vacío. Los ligandos en un complejo determinan la reactividad del átomo central, incluyendo la actividad redox, las tasas de sustitución del ligando y la reactividad de los ligandos mismos. Los ligandos se clasifican de muchas maneras, según su carga, su tamaño, la identidad del átomo de coordinación y el número de electrones donados al metal.

Lo anterior significa que el número de conglomerados estabilizados por ligandos es enorme; sin embargo, la mayoría de ellos son molecularmente pe-

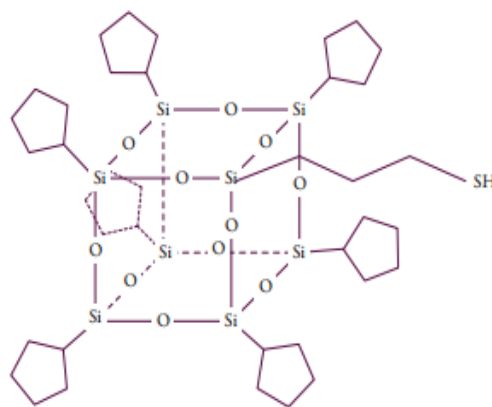


queños, constituidos por menos de una docena de átomos y sus propiedades muestran que tienen electrones de enlace más o menos localizados; por tanto, son los conglomerados un poco mayores los que se consideran, en general.

Una manera de sintetizar los conglomerados es disolver una sal o complejo del metal correspondiente en un solvente apropiado y entonces reducirlo al estado de valencia cero. La vida de los átomos es corta en solución, pues tienden a coagularse rápidamente en arreglos más grandes. El paso decisivo en la sintetización de los conglomerados es parar el crecimiento en el momento correcto, para evitar la formación del metal masivo. Esto es difícil de generalizar; sin embargo, el crecimiento se puede detener usando moléculas ligando que se coordinan fuertemente con los átomos superficiales. En algunos casos esas moléculas pueden estar ya presentes durante el proceso de reducción. Otras rutas son exitosas si los ligandos se añaden después de la reducción.<sup>[31]</sup>

Uno de los llamados conglomerados de capa completa, descrito por primera vez en 182,<sup>[33]</sup> el  $Au_{55}(-PPh_3)_{12}C_{16}$ , (es un conglomerado de dos capas, que consiste en 1 + 12 + 42 átomos empacados densamente) ha sido usado para reacciones de intercambio de ligandos para formar derivados solubles en agua  $Au_{55}(Ph_2PC_6H_4SO_3Na)_{12}C_{16}$ <sup>[34]</sup> y  $Au_{55}(Ph_2C_6H_4-SO_3H)_{12}C_{16}$ .<sup>[35]</sup> Estos conglomerados estabilizados con fósforo muestran una estabilidad, especialmente en solución y también en estado sólido a temperatura elevada o cuando se someten a radiación de alta energía. Por ejemplo, al obtener las imágenes de los conglomerados  $Au_{55}$  con microscopía electrónica de transmisión de alta resolución, esto va acompañado de reacomodamientos y procesos de coagulación entre las moléculas del conglomerado, lo que lleva a partí-

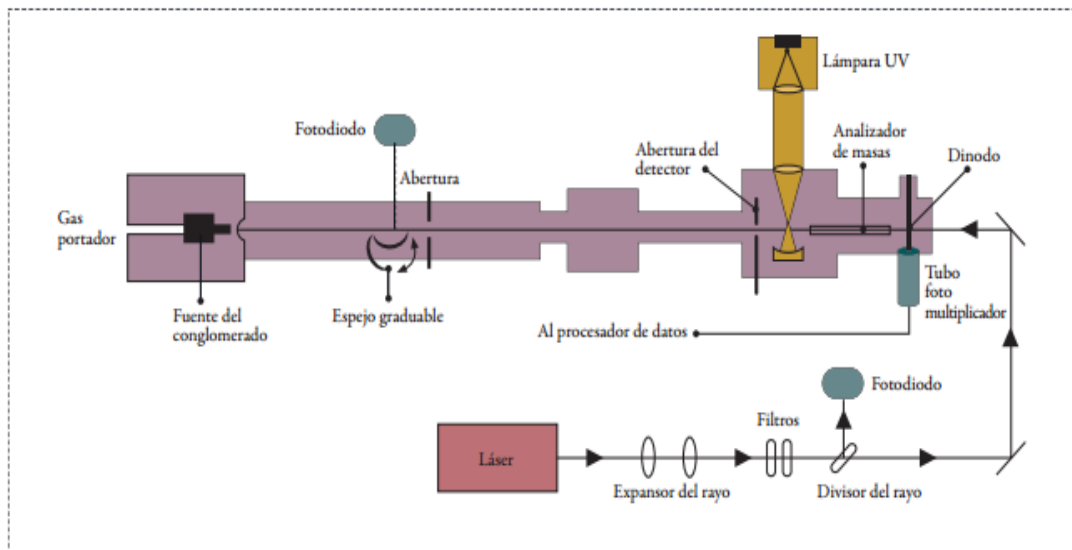
culas coloidales en cuestión de segundos.<sup>[36]</sup> Entre otras cosas, este comportamiento ha originado que varios investigadores hayan malinterpretado las mediciones.<sup>[36, 37]</sup> Un considerable aumento de la estabilidad del mismo conglomerado se ha logrado intercambiando los ligandos flojos  $PPh_3$  por  $T_8-OSS$ , el voluminoso derivado del oligo silsesquioxano, figura 8.<sup>[38, 3]</sup>



**Figura 8.** El oligo silsesquioxano usado para estabilizar los conglomerados de  $Au_{55}$ .

**Fuente:** Schmidt, G. and L. F. Chi, "Metal Clusters and Colloids", *Adv. Mater.*, Vol. 10, No. 7, 18, p. 515.

Los conglomerados también se pueden sintetizar en máquinas de rayo (o chorro) de conglomerados, como se esquematiza en la figura 9. Los conglomerados se condensan del metal evaporado durante el enfriamiento en la boquilla supersónica, a través de la cual son llevados por un chorro de gas inerte a alta presión. La evaporación se realiza por calentamiento directo o exponiendo un pedazo de material a una intensa radiación láser. Las rejillas colimadoras definen una trayectoria que, si es seguida por el rayo, se producirá la detección. Las regiones de interacción pueden contener uno o varios de campos magnéticos estáticos eléctricos o magnéticos; agentes dispersores como electrones, átomos neutros o ionizados, moléculas o conglomerados; reactivos químicos; o radiación electromagnética,

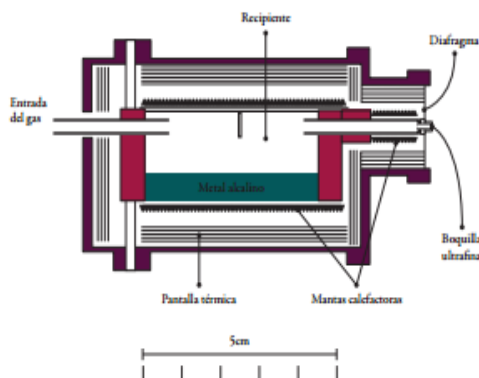


**Figura 9.** Esquema de un aparato de rayo de conglomerados para medir las secciones rectas de fotoabsorción de los conglomerados.

**Fuentes:** Cohen, M. L. and W. D. Knight, "The Physics of Metal Clusters", Physics Today, december 10, p. 42.

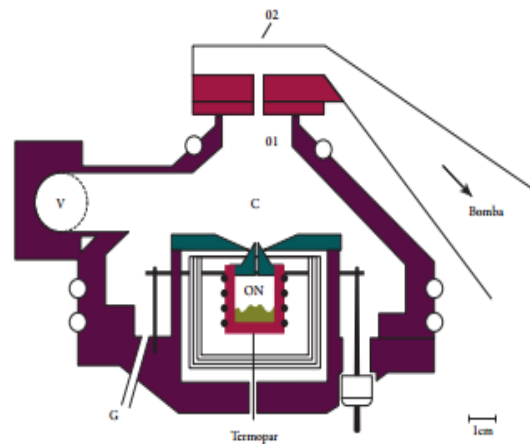
desde las microondas o infrarrojo hasta el ultravioleta. El grado de deflexión del rayo de conglomerados por los campos aplicados en la región de interacción es una medida de la fuerza de la interacción.<sup>[40]</sup>

La figura 10 muestra una máquina similar a la anterior, pero en una vista más simplificada.<sup>[41, 42]</sup>



**Figura 10.** Boquilla supersónica para producir conglomerados de metales alcalinos.

**Fuentes:** deHeer, W. A., "The physics of simple metal clusters: Experimental aspects and simple models", Rev. Mod. Phys., Vol. 65, 13, p. 611.



**Figura 11.** Máquina para hacer conglomerados metálicos de 1 a 1.000 átomos. ON horno; C cámara de condensación; O1, O2 colimadores; V válvula para conexión al vacío; G entrada de gas y termopar.

**Fuente:** Sattler, K., J. Mühlbach and E. Recknagal, "Generation of metal Clusters from 2 to 500 atoms", Phys. Rev. Let., Vol 45, No. 10, 180, p. 821.

La figura 11 muestra otra máquina utilizada para hacer conglomerados con tamaños que van desde 2 hasta 1.000 átomos, donde las partículas de tamaño uniforme se separan por técnica del tiempo de vuelo





(TDV). Los conglomerados se forman por nucleación a partir del vapor de metal en una atmósfera de helio encerrada en una celda de condensación enfriada con nitrógeno líquido. Los átomos se difunden de celda por un pequeño orificio ( $O_1$  con un diámetro de 1,4 mm), pasan la sección de bombeo diferencial y entran al espectrómetro de masas (orificio  $O_2$ ). La intensidad del chorro de conglomerados neutros es registrada por un medidor de espesor de película. El espectrómetro de TDV está equipado con un sistema sincronizado de deflexión electrónica para separar las masas singulares del chorro o rayo total<sup>[43,44]</sup>

También hay máquinas de estas donde el calentamiento se hace con láser, y otras técnicas.<sup>[45]</sup>

### LAS PROPIEDADES

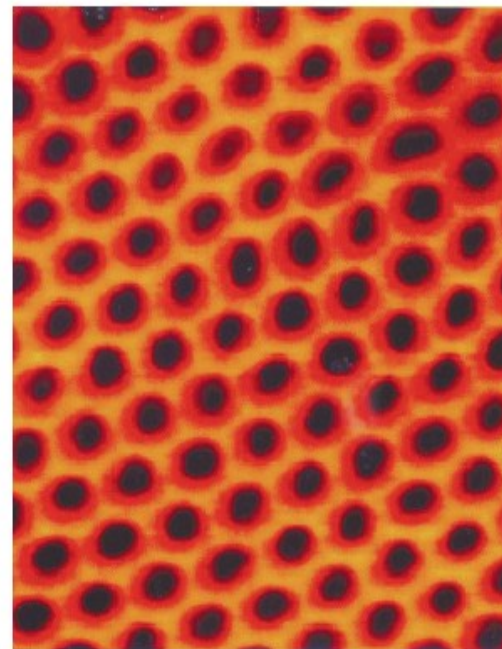
Los conglomerados metálicos –y los de semiconductores– prometen sustituir a los materiales tradicionales en el régimen de los wmicrómetros. Esta sustitución no solo estará ligada con la miniaturización de los aparatos, sino que será un gran salto a nuevas tecnologías. Primero que todo hay la oportunidad de trabajar con electrones singulares a temperatura ambiente, una condición para el desarrollo de nuevas generaciones de láseres y computadores. Se pueden esperar capacidades de almacenamiento de datos de una magnitud mejor que la de ahora y aún serán posibles redes neuronales tridimensionales, imposibles de lograr con los materiales tradicionales.

Sin embargo, hay numerosas aplicaciones posibles que se están logrando en tiempos más cortos en el campo de la electroluminiscencia, la óptica no lineal, la espectroscopia Raman superficial mejorada, los sensores o la catálisis.

Entre las muchas propiedades de los conglomerados metálicos las que más se utilizan son las ópticas y las catalíticas, y a estas se hará referencia aquí. Esto no quiere decir que otras, como el transporte electróni-

co, no sean importantes, sin embargo, su grado de desarrollo es menor y su complejidad está más allá del alcance de estas notas introductorias.

Para algunas de esas aplicaciones no se necesita que los conglomerados estén organizados, como en los catalizadores y los sensores. Sin embargo, para campos más atractivos de la nanoelectrónica es condición necesaria el ordenamiento y ese es un aspecto en el que se trabaja activamente.



**Figura 12.** Imagen de una membrana de alúmina nanoporosa. Imagen de microscopio de fuerza atómica. Tales poros pueden rellenarse con conglomerados metálicos.

**Fuente:** Schmid, G. et al., "Current and future applications of nanoclusters", Chem. Soc. Rev., 1, Vol. 28, p. 17.

La respuesta óptica de los conglomerados refleja directamente su estructura electrónica, la cual, como ya se vio, depende fuertemente del tamaño y forma de la partícula. Esta respuesta se puede estudiar con investigaciones directas de conglomerados libres,<sup>[46-50]</sup> o por deposición de los conglomerados sobre sustra-





tos.<sup>[51,52]</sup> Otra técnica es embeber conglomerados en una matriz dieléctrica, que no solo crea materiales con propiedades particulares, sino que es una manera sencilla de estudiar la respuesta óptica de estas partículas (figura 12).<sup>[53]</sup>

En realidad, estas propiedades ópticas específicas son bien conocidas y se han usado por siglos en el esmaltado y coloreado del vidrio. Estos efectos, como ya se mencionó en la sección anterior, son el resultado de los cambios en la llamada resonancia del plasmón superficial, la frecuencia a la cual oscilan los electrones de conducción en respuesta al campo eléctrico alternante de la radiación electromagnética incidente. Se dijo entonces que en los metales, donde la separación entre la banda de valencia y la de conducción es cero, ocurren cambios en la estructura de estas debido al tamaño, y las cantidades que más cambian con el tamaño son el nivel de Fermi, la afinidad electrónica y la respuesta del plasmón superficial. Es decir, cuando las partículas de este tamaño se exponen a la radiación luminosa, el campo electromagnético de la luz hace oscilar colectivamente los electrones de la banda de conducción de la superficie de la partícula, con respecto al núcleo iónico del conglomerado. La oscilación coherente de los electrones libres del metal en resonancia con el campo electromagnético se llama, como ya se anotó, resonancia superficial del plasmón.<sup>[54]</sup>

Por las razones anteriores, las técnicas ópticas son poderosas herramientas para la caracterización de los conglomerados y se basan –como ya se ha indicado– en la estrecha conexión entre las propiedades ópticas de estos diminutos objetos y sus características internas (tamaño, forma y estructura) y el ambiente local (matriz sólida o líquida, moléculas unidas, otros objetos nano, etc).<sup>[55,56]</sup> Todos los parámetros fluctúan de un objeto a otro, por tanto, solo se obser-

van propiedades promedio en los experimentos convencionales llevados a cabo con conjuntos grandes. La determinación de los mecanismos elementales en el origen de las propiedades observadas y comparación cuantitativa con los modelos teóricos es entonces muy compleja, porque debe incluir varios efectos estadísticos. Es por ello que el estudio de las técnicas ópticas para detectar y caracterizar los conglomerados singulares es fundamental, pero, dada su complejidad y su incipiente grado de desarrollo, no se profundizarán en este momento.

Se ha estudiado ampliamente la luminiscencia de objetos singulares, como las moléculas, los puntos cuánticos semiconductores o los nanotubos de carbono y se ha obtenido así información sobre sus propiedades individuales.<sup>[57-59]</sup> Sin embargo, la observación de objetos singulares no luminiscentes como los conglomerados metálicos es mucho más difícil porque requiere la detección de la absorción o dispersión muy débil de la luz. La elevada resolución espacial de la técnica óptica de campo cercano se ha utilizado, por ejemplo, para detectar partículas singulares de oro.<sup>[60-62]</sup> Sin embargo, debido al fuerte acoplamiento entre la punta de medida y la partícula metálica estudiada, la respuesta observada depende de las características de los dos objetos, lo cual dificulta mucho la interpretación.<sup>[63,64]</sup> Es por ello que ha sido importante el desarrollo de técnicas de campo lejano, libres de las influencias espurias de los aparatos de observación. Un ejemplo de ello es el equipamiento desarrollado en la Universidad de Bordeos, que permite la detección y la espectroscopia de nanopartículas singulares como función de su tamaño, forma, estructura y ambiente, en particular cuando este último no es homogéneo.<sup>[65]</sup>

Esas técnicas también se pueden aplicar a la espectroscopia de absorción de otros nanoobjetos singulares, como los puntos cuánticos. También



se puede extender al estudio de la respuesta óptica no lineal de partículas singulares, y en particular las medidas absorción transitoria resueltas en el tiempo con fuentes de pico o femtosegundos.<sup>[66]</sup>

Las partículas soportadas también se han estudiado con diversas técnicas, especialmente con espectroscopia de cavidad anillo - abajo (cavity ring-down spectroscopy, CRDS). Este método es una técnica sensible de absorción en la cual se mide la tasa y no la magnitud de la absorción de un pulso de luz confinado en una cavidad óptica.<sup>[67, 68]</sup> La muestra se coloca dentro de una cavidad óptica muy fina constituida por dos espejos altamente reflectivos. A la cavidad se le acopla un pulso corto de láser, la luz es reflejada entre los dos espejos y, cada vez que se refleja, una pequeña cantidad sale de la cavidad. En vez de medir la intensidad total de la luz que sale de la cavidad, se determina el tiempo de decaimiento midiendo la dependencia del tiempo con la luz que se filtra. De esta manera se puede obtener la tasa de absorción; mientras más absorba la muestra, más corto es el tiempo de decaimiento. Así, trabajando con conglomerados soportados en el vacío, de un solo metal y tamaño uniforme, se aplica la técnica descrita.<sup>[6]</sup> Obviamente, el tipo de soporte es fundamental.

Por ejemplo, las mencionadas membranas nanoporosas de alúmina no solo sirven para rellenarlas con conglomerados, sino que también ofrecen la oportunidad de sintetizar nanopartículas dentro de tubos de largo y diámetro definidos. Otra ventaja de este sistema es la absoluta transparencia bajo la luz visible, de modo que la generación en la membrana de materiales interesantes ópticamente puede llevar al desarrollo de unos muy útiles.

Además, los materiales compuestos por conglomerados y otros generan posibles aplicaciones. Por ejemplo, una patente de 2007 describe una partícula

luminiscente formada por al menos un tipo de conglomerado metálico luminiscente recubierto por una o más capas de polímeros orgánicos o inorgánicos o combinaciones de ellos. Estas partículas se pueden usar para la detección óptica o la generación de imágenes.<sup>[70]</sup>

Debe recordarse además que los desplazamientos de la energía del enlace núcleo - electrón en los conglomerados metálicos soportados depende de los cambios en la estructura de bandas en el estado inicial, así como como de varios efectos del estado final. Es decir, esos desplazamientos surgen principalmente de la carga dejada en el conglomerado por la fotomisión, así, cuando a la transición metal - aislador se llega desde arriba, el apantallamiento se suprime y el desplazamiento está determinado por el ambiente local, lo cual permite vislumbrar su uso como detectores.<sup>[71]</sup> De modo que los cambios drásticos en la capacidad de absorción y emisión de los conglomerados, por causa del ambiente, es un amplio campo de investigación.

Esto tiene otras aplicaciones, como en las celdas solares, donde la eficiencia de la conversión fotovoltaica se mejora con la incorporación de pequeños conglomerados de metal. La mejora se explica en términos de la absorción resonante de la luz en el conglomerado que se ve acompañada por un campo eléctrico fortalecido en la vecindad de la partícula. Por tanto, se basa en una mejor absorción por parte de la película de pintura orgánica.<sup>[72, 73]</sup>

Pero además se han mejorado las celdas solares, al saber que el plasmón excitado en un conglomerado metálico también es capaz de emitir un electrón directamente en una dirección preferencial, si las partículas se ubican dentro de un campo eléctrico orientado, como el que existe en la capa empobrecida de una unión de Schottky. Esta última es el tipo de



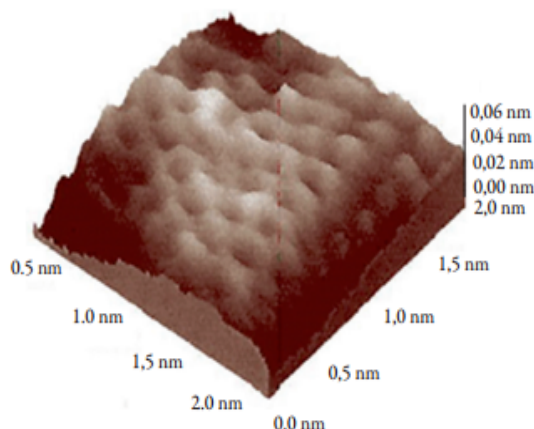


barrera energética para los electrones que se forma en una unión metal/semiconductor, tiene características rectificadoras de la corriente y, por eso, sirve como diodo.<sup>[74]</sup> Con base en estos principios se diseñan actualmente mejores celdas solares.<sup>[75,76]</sup>

En cuanto a las propiedades catalíticas de los conglomerados, los más estudiados han sido, por un lado, los de metales nobles y de transición estabilizados con ligandos, por otro, las partículas desnudas no protegidas; ambos como catalizadores homogéneos y heterogéneos, respectivamente.<sup>[77]</sup> En especial, las partículas de metal soportadas se han aplicado tradicionalmente en la catálisis industrial para muchos propósitos como la refinación del petróleo, la conversión en los tubos de escape de automóviles, la hidrogenación del monóxido de carbono, la hidrogenación de las grasas y muchos otros procesos. Generalmente, el metal es muy costoso, puede constituir apenas el 1% en peso del material catalítico, y se aplica como una dispersión fina de partículas sobre un soporte de óxido metálico con poros de elevada área relativa. Como se sabe, mientras menores sean las partículas mayor será la fracción de átomos metálicos que están expuestos a la superficie, donde tendrán acceso a las moléculas que reaccionan y están disponibles para la catálisis.<sup>[78]</sup>

Un catalizador de metal apoyado típico se hace en un soporte poroso (como  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), figura 13, al que se le aplica una solución acuosa de sal metálica (como cloruro tetraaminoplatino) seguido de calentamiento en el aire (calcinación) y reducción en hidrógeno. Las estructuras resultantes consisten típicamente de las partículas metálicas distribuidas sobre la superficie interna del soporte. Como la mayoría de las superficies de apoyo no son uniformes estructuralmente y como las partículas metálicas no son del mismo tamaño y son demasiado pequeñas para caracterizarlas con precisión, las estructuras de los catalizadores metálicos continúan siendo estudiadas

con herramientas cada vez más poderosas y se hacen muchos esfuerzos por entender el fenómeno catalítico y crear catalizadores a la medida, con eficiencia y selectividad elevadas.<sup>[7,80]</sup>



**Figura 13.** Una película de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  de  $2 \times 2$  nm. Microscopia de efecto túnel.

**Fuente:** Santra, A. K. and D. W. Goodman, "Oxide-supported metal clusters: models for heterogeneous catalysts", *J. Phys.: Condens. Matter*, Vol. 14, 2002, p. R31.

Como se ha dicho, la estructura electrónica de los conglomerados depende del tamaño y es de gran importancia en las propiedades catalíticas de esos sistemas.<sup>[81]</sup> Así por ejemplo, la noble cualidad del oro cuando se reduce a conglomerados de ocho átomos sobre un soporte adecuado se transforma en un atractivo y activo centro para la oxidación del  $\text{CO}$ .<sup>[82]</sup> Sin embargo, la dependencia de las propiedades fisicoquímicas respecto al tamaño de estos conglomerados soportados es apenas una parte de la historia. Los soportes de óxido en los cuales descansan los conglomerados metálicos son entidades activas en sí mismas y se requiere experimentación muy cuidadosa para desenmarañar los efectos del conglomerado y el soporte y, todavía más importante, para entender el papel de los defectos químicamente activos en la actividad catalítica del conglomerado metálico. La transferencia de carga entre el





soporte y el conglomerado y la difusión de las moléculas reaccionantes del soporte, en un proceso conocido como “derrame inverso”, son algunos de los papeles complejos de los materiales de soporte en esos sistemas catalíticos. Además, los conglomerados metálicos exhiben una fluctuación estructural dinámica, en la cual la forma del conglomerado se altera durante la reacción química, disminuyendo las barreras energéticas y aumentando las tasas de reacción para optimizar la ruta de la catálisis. Las propiedades de los conglomerados metálicos también se pueden cambiar selectivamente introduciendo átomos dopantes en ellos y cambiando así su estructura electrónica, su relación con el soporte de óxido y su capacidad catalítica.<sup>[83,84]</sup>

Lo cierto es que todos estos temas son muy extensos y han sido revisados a fondo,<sup>[85-91]</sup> pero el asunto se ha centrado en los resultados más recientes enfocados a conglomerados metálicos soportados que tienen estructuras muy bien definidas y que son pequeños (menos de 10 átomos), bien caracterizados y casi uniformes en tamaño y estructura. Esos conglomerados incorporan ligandos, incluidos los soportes, y los ligandos son una parte importante de la química. Los catalizadores típicos de este tipo tienen soportes de óxido metálico, carbono, un material mesoporoso como un aluminosilicato o un material microporoso como una zeolita o un aluminofosfato cristalino y especies catalíticas dispersas en el soporte.

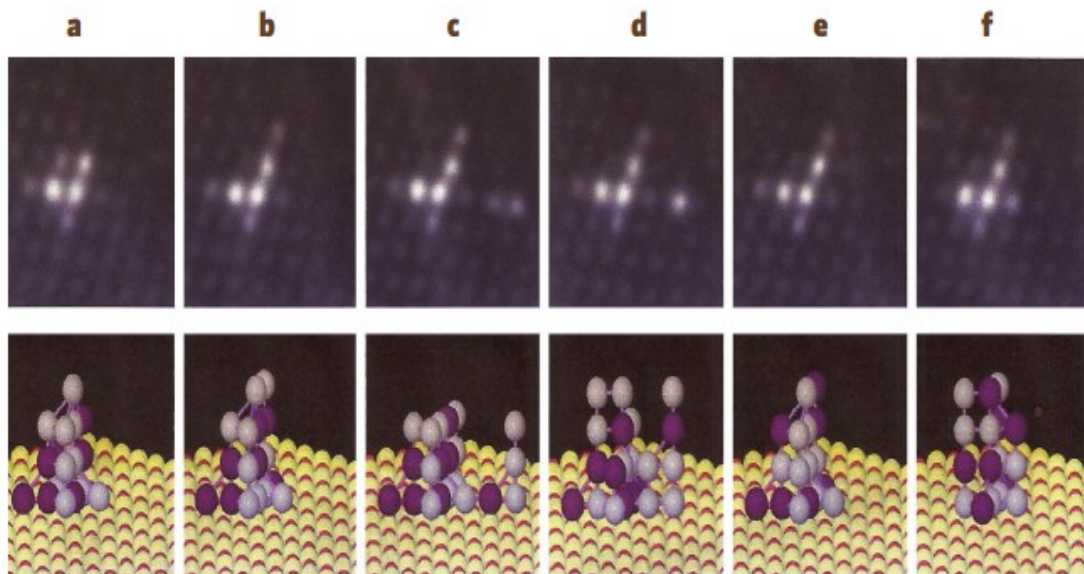
Para facilitar la determinación de las estructuras del metal soportado, es esencial tener conglomerados que sean uniformes (de modo que los resultados promedio encontrados con la espectroscopia sean representativos de los conglomerados individuales) y de tamaño pequeño (de manera que las estructuras se puedan evaluar con espectroscopia extendida de absorción de rayos X por la estructura fina –Extended X-ray absorption fine structure spectroscopy, EXAFS– y mi-

croscopia electrónica de alta resolución –High - resolution electron microscopy, HREM–; y la estructura, enlaces y reactividad se puedan investigar con la teoría de la función de densidad).

Los métodos más directos para preparar conglomerados metálicos uniformes y soportados incluyen el uso de precursores con estructuras que previamente contengan el patrón metálico deseado y anclarlos al soporte. Así, los conglomerados organometálicos en solución y los conglomerados metálicos en el gas son buenos precursores.

Un requerimiento clave en tal síntesis es que los conglomerados retengan su nuclearidad durante la absorción o la deposición, esto es, que el catalizador resultante no se fragmente o se aglomere. Para mantener la estructura patrón, se prefieren los conglomerados con enlaces fuertes metal - metal y aquellos que incorporan ligandos unidos fuertemente, porque de otra manera la reacción con la superficie soportada puede incluir rotura del enlace metal - metal (fragmentación del conglomerado), formación de enlaces metal - metal (aglomeración del conglomerado) o ambas cosas.<sup>[92]</sup>

Por ello que es importante conocer la función de los ligandos, pues ellos pueden aumentar o reducir la actividad; sin embargo, también se ha demostrado que el influjo de los ligandos con respecto a la selectividad también puede ser de interés. En algunos casos, como los conglomerados de Pd (3 - 4 nm) –sobre soportes como carbón activado, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> o varias zeolitas, muestran muy buenas actividades y selectividades cuando se usan para la semihidrogenación de cis-hex-2.<sup>[93,94]</sup> Los ligandos consisten en varias fenoantrolinas sustituidas. Se puede observar que, dependiendo del tipo de sustituyente, por ejemplo grupos alquílicos de varias longitudes, la actividad cambia considerablemente, mientras la selectividad siempre es cercana al 100%.<sup>[95-97]</sup>



**Figura 14.** Fila superior a - f imágenes de campo oscuro (Z - contrast) de un conglomerado bimetalico de Ir y Re sobre MgO. Fila inferior a - f modelos tridimensionales.

**Fuente:** Ortalan, V. et al., "Towards Full-structure Determination of Bimetallic Nanoparticles with an Aberration-Corrected Electron Microscope", *Nat. Nanotech.*, Vol. 5, 2010, p. 843.

Finalmente, hay que recordar los catalizadores de conglomerados polimetálicos, que son los que tienen átomos de dos o más metales. Virtualmente, cualquier propiedad de un catalizador metálico, incluyendo la actividad, la selectividad o la estabilidad superficial, puede ser influida al combinar uno o más metales diferentes en la forma de conglomerados polimetálicos. Este es el tipo que se utiliza en la reforma catalítica de las naftas de petróleo para la producción de gasolinas de motor de alta calidad antidetonante. Los conglomerados bimetalicos son un caso particular y se han preparado cuidadosamente muchos de ellos (figura 14).<sup>[98,99]</sup> Esta es apenas una pequeña introducción al extenso campo de investigación que es la aplicación de los conglomerados metálicos a la catálisis.

### LAS APLICACIONES

Ya se han señalado algunas aplicaciones importantes de los apilamientos metálicos, pero es bueno recapitularlas, para mostrar que este no es un asunto

académico sino de ingeniería. El principal uso actual de estas nanoaleaciones es como catalizadores industriales en diversos procesos.

Los metales masivos solo se usan como catalizadores en unos pocos procesos donde un área superficial razonablemente elevada se estabiliza con los llamados promotores estructurales. El ejemplo más conocido de esta clase de catalizadores es, sin duda, la síntesis del  $\text{NH}_3$ . Como los metales, en particular los nobles, tienen elevadas energías libres superficiales, tienden a agregarse a menos que se puedan estabilizar partículas pequeñas colocándolas sobre soportes adecuados. Esta clase de catalizadores metálicos soportados es extremadamente importante en la tecnología, pues se usan eficientemente en aplicaciones como las hidrogenaciones selectivas, el control de la emisión de gases de los vehículos (catalizador de tres vías) y la reforma catalítica.





Las elevadas áreas superficiales se pueden obtener cuando las nanopartículas se estabilizan al soportarlas sobre superficies en gran dispersión. La dispersión se define como la fracción de átomos de metal que se exponen al reactivo, por ejemplo, una partícula de platino de 1 nm contiene menos de 50 átomos y tiene una dispersión cercana al 100%. Esto es particularmente importante para los metales nobles que son altamente activos catalíticamente, pero muy costosos.<sup>[100]</sup>

Como las reacciones catalíticas ocurren en la superficie de las nanopartículas, se desperdicia una proporción significativa de átomos en los procesos catalíticos. Esto es particularmente importante en metales catalíticos caros como el Pd y el Pt. Para disminuir los costos, es importante sintetizar nanocatalizadores  $A_{\text{núcleo}}B_{\text{capa}}$ , donde A es un metal relativamente barato (como Co, Ni, Cu), generalmente menos activo catalíticamente, y B es más costoso y más activo (Pd o Pt). Así se han usado partículas de Ni - Cu, Ni - Ag, Ni - Au, Cu - Pd, Cu - Pt, Pd - Ag, Pd - Au, Pt - Ag, Pt - Au. En ciertos casos, sin embargo, la formación de partículas núcleo - capa de átomos o intermezcladas puede dar también como resultado efectos sinérgicos sobre las propiedades catalíticas de los dos metales componentes.<sup>[101]</sup>

Pero los apiñamientos no solo se usan en catálisis química, sino también en bioelectro - catálisis. Por ejemplo, las celdas de combustible de bioalcohol directas y la producción electroquímica verde son dos líneas de investigación claves en el desarrollo sostenible de la humanidad. Para lograr una conversión electroquímica eficiente, se requieren los electrocatalizadores nanoestructurados. Para ello se han desarrollado una serie de electrocatalizadores como las partículas cero dimensionales de Pt, Pd, Au, Pd-Ni, nanoalambres de Fe y nanoplacas de Pd - Fe.<sup>[102]</sup>

También, debido a su baja toxicidad, dimensiones reducidas y desempeños ajustables, los apiñamientos de metales nobles están reemplazando a otros materiales en la obtención de bioimágenes y para biomarcas. La obtención de bioimágenes es la rama de la medicina que tiene que ver con el desarrollo y uso de aparatos y técnicas para obtener imágenes de la estructura anatómica interna y proporcionar análisis bioquímico y biofisiológico de tejidos y órganos. El biomarcado es el marcaje (para hacerle seguimiento) de las células individuales, lo cual se hace eficientemente con nanopartículas como los conglomerados metálicos. De esta manera, por ejemplo, se puede seguir la actividad antimicrobial y ayudar a los diagnósticos y la terapia.

Se está tratando entonces de nanosensores, que son cualquier punto sensorial biológico, químico o físico usado para transportar información acerca de nanopartículas al mundo macroscópico. Por ejemplo, en una reciente investigación se han logrado detectar autoanticuerpos utilizando nanopartículas de oro, gracias a sus propiedades ópticas únicas, caracterizadas por una fuerte dispersión de la luz en la región visible del espectro; esta propiedad es aprovechada en la técnica *dispersión de luz dinámica* (DLS), pues las nanopartículas de oro previamente recubiertas de especies dianas (proteínas o sondas de ADN) interactúan con el analito, en este caso con los autoanticuerpos, lo que produce una aglomeración de las sondas de nanopartículas de oro que se traduce en un incremento del tamaño de partícula promedio en la solución. Este aumento puede ser detectado fácilmente con DLS. Si bien esta técnica no permite detectar el tipo específico de cáncer, sirve como test universal para detectar las primeras respuestas inmunes asociadas a un amplio espectro de tipos de cáncer. Esta prueba tiene la gran ventaja de tener un costo de materiales muy bajo, por lo que puede ser implementada masivamente.<sup>[103]</sup>





Otra aplicación de los complejos de apiñamientos metálicos, incluyendo los coloidales, es para establecer el método de la pulverización catódica con bajo daño. La ionización con electrorrociado, usando una boquilla de chorro, tiene el potencial de crear un haz de iones apiñados. Esto facilita muchas técnicas de análisis.<sup>[104]</sup>

Finalmente, se debe señalar que un campo promisorio para los conglomerados metálicos es en la electrónica molecular, la rama de la ciencia encargada del estudio y aplicación de bloques de construcción moleculares para la fabricación de componentes electrónicos. Debido a la reducción de escalas ofrecida entre las propiedades de la electrónica molecular, los conglomerados metálicos han generado expectativas altas.<sup>[105]</sup>

Otras amplias posibilidades se pueden reseñar, pero son campos que están abiertos a la investigación; sin embargo, su relevancia no debe escapar al interés de todos los comprometidos con la investigación en metalurgia y materiales.

## CONCLUSIÓN

La investigación sobre los conglomerados metálicos apenas empieza a dar frutos, pero sus posibilidades son inmensas y ningún ingeniero de materiales interesado en el futuro debería ser ajeno a estos temas.

## REFERENCIAS

1. Bagus, P. S. H. P. Schaefer, and C. W. Bauschlicher, "Structure of small metal clusters", *J. Chem. Phys.*, Vol. 78, 183, p. 130.
2. Upton, T. H. and Goddard W. A., "Chemisorption of H, Cl, Na, O, and S atoms on Ni (100) surfaces: a theoretical study using Ni<sub>20</sub> clusters", *Crit. Rev. Solid State Mater. Sci.*, Vol. 10, 181, p. 261.
3. Madhavan, P. and J. L. Whitten, "Theoretical studies of the chemisorption of hydrogen on copper", *J. Chem. Phys.*, Vol. 77, 182, p. 2673.
4. Lee, K. et al, "Electronic structure of small clusters of nickel and iron", *Phys. Rev. B*, Vol. 31, 185, p.176.
5. Dernuyck, J. et al., "Bulk properties or not: The electronic structure of small metal clusters", *J. Chem. Phys.*, Vol. 75, 181, p. 3443.
6. Pacchioni, G. and J. Koutecky, "Stability and other properties of Li<sub>13</sub> clusters. An example of specific characteristics of clusters", *J. Chem. Phys.*, Vol. 81, 184, p. 3588.
7. Martins, J. L. and J. Buttet, and R. Car, "Electronic and Structural Properties of Sodium Cluster", *Phys. Rev. B*, Vol. 31, 185, p.1804.
8. Rao, B. K. P. Jena, and D. D. Shillady, "Structural properties of microcrystallites", *Phys. Rev. B*, Vol. 30, 184, p. 723.
9. G. Pacchioni, W. Pewestorf, and J. Koutecky, "Low-lying electronic states of Be<sub>n</sub> clusters (n = 7, 10, 13) and of the Be<sub>7</sub>-H system", *Chem. Phys.*, Vol. 83, 184, p. 261.
10. Bauschlicher, C. W., P. S. Bagus, and B. N. Cox, "On hybridization and bonding in the alkaline earths: Be, Mg, and Ca", *J. Chem. Phys.*, Vol. 77, 182, p. 4032.
11. Koutecky, J., et al., "Comparative study of tetramers built from Ia, IIa, IIIa, and IVa atoms", *Surf. Sci.*, Vol.156, 185, p. 650.
12. Chiles, R. A., C. E. Dykstra, and K. D. Jordan, "Bonding in the Mg<sub>4</sub> cluster. An example of chemical bonding originating from electron correlation effects", *J. Chem. Phys.*, Vol. 75, 181, p. 1044.
13. Bauschlicher, C. W. and L. G. M. Pettersson, "The structure of small metal clusters", *J. Chem. Phys.*, Vol. 84, 186, p. 2226.
14. Schmid, G. et al, "Current and future applications of nanoclusters", *Chem. Soc. Rev.*, Vol. 28, 1, p. 17.



15. Knight, W. et al., "Electronic Shell Structure and Abundances of Sodium Clusters", *Phys. Rev. Lett.*, Vol. 52, 184, p.2141.
16. Ekardt, W., "Work function of small metal particles: Self-consistent spherical jellium-background model", *Phys. Rev. B*, Vol. 2, 184, p. 1558.
17. Cheng, L. and J. Yang, "New Insight into Electronic Shells of Metal Clusters: Analogues of Simple Molecules", *J. Chem. Phys.*, Vol. 138, No. 14, 2013, p. 141101.
18. Knight, W. D. et al., "Electronic Shell Structure and Abundances of Sodium Clusters", *Phys. Rev. Lett.*, Vol. 52, 184, p. 2141.
19. Ekardt, W., "Size-dependent photoabsorption and photoemission of small metal particles", *Phys. Rev. B*, Vol. 31, 185, p. 6360.
20. Ekardt, W., "Collective multipole excitations in small metal particles: Critical angular momentum lcr for the existence of collective surface modes", *Phys. Rev. B*, Vol. 32, 185, p. 161.
21. Clemenger, K., Spheroidal Shell Structure and Static Electric Polarizabilities of Alkali Metal Clusters, Ph. D. thesis, University of California, Berkeley, 185.
22. Clemenger, K., "Ellipsoidal shell structure in free-electron metal clusters", *Phys. Rev. B*, 185, Vol. 32, p. 135.
23. Heer, W. A. de, W. D. Knight, M. Y. Chou, and M. L. Cohen, "Electronic shell structures and metal clusters", *Solid State Physics*, Vol. 40, H. Ehrenreich and D. Turnbull (eds.), Academic Press, New York), 187, p. 3.
24. Cohen, M. L. and W. D. Knight, "The Physics of Metal Clusters", *Physics Today*, December 10, p. 42.
25. Brack, M., "The physics of simple metal clusters: self-consistent jellium model and semiclassical approaches", *Reviews of Modern Physics*, Vol. 65, No. 3, 13, p. 677.
26. Björnhol, S. and J. Borggreen, "Electronic shell structure in clusters as reflected in mass abundance spectra", *Philosophical Magazine Part B*, Vol. 7, No. 1, p. 1321.
27. Penzar, Z. and W. Ekardt, "Electronic shell structure and metal clusters: the self-consistent spheroidal jellium model Recent results and further developments", *Z. Phys. D - Atoms, Molecules and Clusters*, Vol. 17, 10, p. 6. Ekardt, W., "Work function of small metal particles: Self-consistent spherical jellium-background model", *Physical Review B*, Vol. 2, No. 4, 184, p. 2.
28. Lai, S. K. et al., "Structures of metallic clusters: Mono- and polyvalent metals", *J. Chem. Phys.*, Vol. 117, 2002, p. 10715.
29. Bauschlicher, C. W. and L. G. M. Pettersson, "The structure of small metal clusters", *J. Chem. Phys.*, Vol. 84, 186, p. 2226.
30. Stampili, P. and K. H. Bennemann, "Unified Model for the Shell Structure in Metallic Clusters", *Z. Phys. Chem.*, Vol. 184, 14, p. S. 275.
31. Schmid, G. and L. F. Chi, "Metal Clusters and Colloids", *Adv. Mater.*, Vol. 10, No. 7, 18, p. 515.
32. Schmid, G. et al., "Au<sub>55</sub>[P(C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>)<sub>3</sub>]<sub>12</sub>Cl<sub>6</sub>-A Gold Cluster of An Exceptional Size", *Chem. Ber.*, Vol. 114, 181, p. 3634.
33. Schmid, G. et al., "Ligand-stabilized metal clusters and colloids: properties and applications", *J. Chem. Soc., Dalton Trans.*, No. 5, 16, p. 58.
34. Schmid, G., "Metal clusters and cluster metals", *Polyhedron*, Vol. 7, 188, p. 2321.
35. Schmid, G., S. Peschel and T. Sawitowski, "Two dimensional arrangements of gold clusters and gold colloids on various surfaces", *Z. Anorg. Allg. Chem.*, Vol. 623, 17, p. 71.
36. Hornyak, G. L. et al., "TEM, STM and AFM as tools to study clusters and colloids", *Micron*, Vol. 2, Nos. 2-3, 18, p. 183.





37. Vogel, W., B. Rosner, and B. Tesche, "Structural investigations of gold (Au<sub>55</sub>) organometallic complexes by x-ray powder diffraction and transmission electron microscopy", *J. Phys. Chem.* 13, 7, p. 11611.
38. Schmid, G. et al., "Silsesquioxanes as Ligands for Gold Clusters", *Eur. J. Inorg. Chem.*, 18, p. 813.
39. Schmid G. and U. Simon, "Gold nanoparticles: assembly and electrical properties in 1–3 dimensions", *Chem. Commun.*, 2005, p. 67.
40. Cohen, M. L. and W. D. Knight, "The Physics of Metal Clusters", *Physics Today*, December 10, p. 42.
41. deHeer, W. A., "The physics of simple metal clusters: Experimental aspects and simple models", *Rev. Mod. Phys.*, Vol. 65, 13, p. 611.
42. O'Hair, R. A. J. and Kairrallah, G. N., "Gas phase ion chemistry of transition metals: production, reactivity and catalysis", *J. Cluster Sci.*, Vol. 15, No. 3, 2004, p. 331.
43. Sattler, K.; J. Mühlbach, E. Recknagel and A. Reyes-Flotte, "Electronic time-of-flight mass spectrometer and separator for metal clusters", *J. Phys. E*, Vol. 13, 180, p. 673.
44. Sattler, K., J. Mühlbach and E. Recknagel, "Generation of metal Clusters from 2 to 500 atoms", *Phys. Rev. Lett.*, Vol 45, No. 10, 180, p. 821.
45. Dietz, T. G. et al., "Laser production of supersonic metal cluster beams", *J. Chem. Phys.*, Vol. 74, No. 11, 181, p. 6511.
46. Heer, W. A. de et al., "Collective dipole oscillations in small sodium clusters", *Phys. Rev. Lett.*, Vol. 5, No. 16, 187, p. 1805.
47. Blanc, J. et al. J., "Evolution of the electronic structure of lithium clusters between four and eight atoms", *Chem. Phys*, Vol. 6, 12, p.173.
48. Borggreen, J. et al., "Plasma excitations in charged sodium clusters", *Phys. Rev. B*, Vol. 48, No. 23, 13, p. 17507.
49. Castleman, A. W. and K. H. Bowen, "Clusters: Structure, Energetics, and Dynamics of Intermediate States of Matter", *J. Phys. Chem.*, Vol. 100, No. 31, 16, p. 121.
50. Reiners, T. et al., "Size dependence of the optical response of spherical sodium clusters", *Phys. Rev. Lett.*, Vol. 74, 15, p. 1558.
51. Götz, T. et al., "Characterization of large supported metal clusters by optical spectroscopy", *Z. Phys. D*, Vol. 33, No. 2, 15, p. 133.
52. Sharma, A. K. et al., "Optical and Structural Characteristics of Gold Nanocrystallites Embedded in a Dielectric Matrix", *MRS Proceedings*, Vol. 617, 2000,
53. Kreibig, U. and M. Vollmer, *Optical Properties of Metal Clusters*, Springer, Berlin, 15, p. 321.
54. Palpant, B. et al., "Optical properties of gold clusters in the size range 2–4 nm", *Phys. Rev. B*, Vol.57, No. 3, 18, p. 163.
55. Kreibig, U. and M. Vollmer, *Op. Cit.*, p. 14.
56. Moerner, W. E. and M. Orrit, "Illuminating Single Molecules in Condensed Matter", *Science*, Vol. 283, 1, p. 1670.
57. *Ibidem*, p. 1672.
58. Empedocles, S. A. et al., "Photoluminescence Spectroscopy of Single CdSe Nanocrystallite Quantum Dots", *Phys. Rev. Lett.*, Vol. 77, No. 18, 16, p. 3873.
59. Hartschuh, A. et al., "Simultaneous Fluorescence and Raman Scattering from Single Carbon Nanotubes", *Science*, Vol. 301, 2003, p.1354.
60. Klar, t. et al., « Surface-Plasmon Resonances in Single Metallic Nanoparticles", *Phys. Rev. Lett.*, Vol. 80, 18, p. 424.
61. Mikhailovsky et al., A. A. "Broadband near-field interference spectroscopy of metal nanoparticles using a femtosecond white-light continuum". *Opt. Lett.*, Vol. 28, 2003, p. 1686.
62. Chen-Han, H., et al., "The phase-response effect of size-dependent optical enhancement



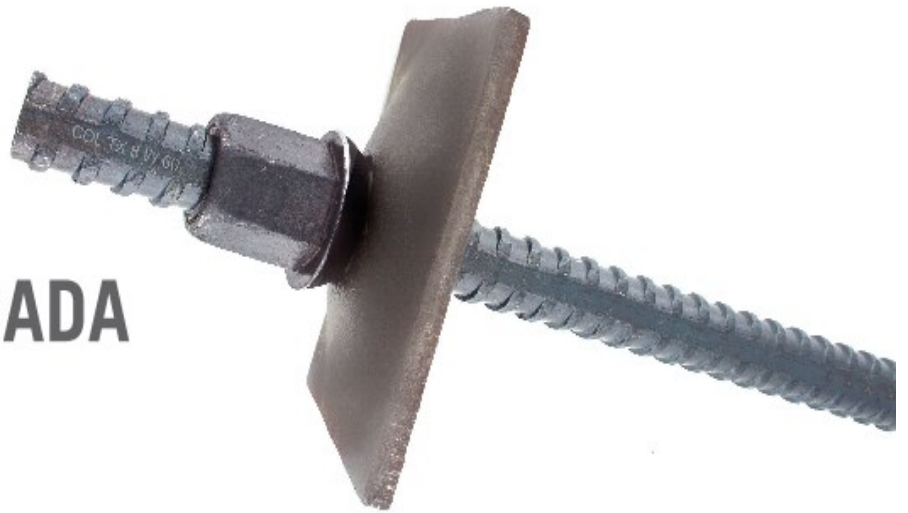
- in a single nanoparticle”, *Optic Express*, Vol. 16, No. 13, 2008, p. 580.
63. Zhaogang, D. et al., “Artifact removal by intrinsic harmonics of tuning fork probe for scanning near-field optical microscopy”, *Optics Express*, Vol. 18, 2010, p. 22047.
64. Jordan, C. E. et al., “Removing optical artifacts in near-field scanning optical microscopy by using a three-dimensional scanning mode”, *J. Appl. Phys.*, Vol. 86, 1, p. 2785.
65. Arbouet, A. et al., “Direct Measurement of the Single-Metal-Cluster Optical Absorption”, *Phys. Rev. Lett.*, Vol. 3, No. 12, 2004, p. 127401-1.
66. Huang, W. et al., “Photothermal reshaping of prismatic Au nanoparticles in periodic monolayer arrays by femtosecond laser pulses”, *J. Appl. Phys.*, Vol. 8, No. 11, 2005, p. 114301
67. Berden, R. Peeters, and G. Meijer, “Cavity ring – down spectroscopy: experimental schemes and applications”, *International Reviews in Physical Chemistry*, Vol. 1, 2000, p. 565.
68. Scherer, J. J., et al., “Cavity ring - down laser absorption spectroscopy and time-of-flight mass spectroscopy of jet cooled platinum silicides” *J. Chem. Phys.*, Vol. 103, 15, p. 187.
69. Kartouzian, A. Optical properties of size-selected supported metal clusters measured by cavity ring-down spectroscopy, Ph. D. Thesis, Technische Universität München, München, 2010, p. 7.
70. Huang, L., K. Yang and X. Song, Luminescent metallic cluster particles and uses thereof, US Patent, 20070141727 A1, 2007.
71. Whimhen, G. K. Electronic structure of metal clusters, *Small Particles and Inorganic Clusters*, 18, p. 31.
72. Stenzel, O., A. Stendal, K. Voigtsberger, and C. von Borczykowski, “Enhancement of the photovoltaic conversion efficiency of copper phthalocyanine thin film devices by incorporation of metal clusters”, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, Vol. 37, 15, p. 337.
73. Wu, S. et al., “Absorption enhancement in thin-film silicon solar cells by two-dimensional periodic nanopatterns”, *J. Nanophotonics*, Vol. 4, 2010, p. 043515
74. Westphalen, M. et al., “Metal cluster enhanced organic solar cells”, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 61, 2000, p. 7.
75. Catchpole, K. R. and A. Polman, “Design principles for particle plasmon enhanced solar cells”, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 3, No. 1, 2008, p. 11113.
76. Al Dosari, H. a M. and A. I. Ayesh, “Nanocluster production for solar cell applications”, *J. Appl. Phys.*, Vol. 114, No. 5, 2013, p. 054305.
77. Schmid, G. et al., “Silsequioxanes as ligands for gold clusters”, *Eur. J. Inorg. Chem.*, Vol. 6, 18, p. 813.
78. Gates, B. C., “Supported Metal Clusters: Synthesis, Structure, and Catalysis”, *Chem. Rev.*, Vol. 5, 15, p. 511.
79. Ertl G. and H. J. Freund, “Catalysis and surface science”, *Phys. Today*, Vol. 52, 1, p. 32.
80. Somorjai, G. A., “The flexible surface. New techniques for molecular level studies of catalytic reactions”, *J. Mol. Catal. A: Chem.*, Vol. 107, 16, p. 3.
81. Häkkinen, H. et al. “Structural, electronic, and impurity-doping effects in nanoscale chemistry: supported gold nanoclusters”, *Angew. Chem., Int. Ed.*, Vol. 42, 2003, p. 127.
82. Haruta, M., “Size and Support Dependency in the Catalysis by Gold”, *Catal. Today*, Vol. 36, 17, p. 153.
83. Heiz, U. and E. L. Bullock, “Fundamental aspects of catalysis on supported metal clusters”, *J. Mater. Chem.*, Vol. 14, 2004, p. 564.
84. Santra, A. K. and D. W. Goodman, “Oxide-supported metal clusters: models for heteroge-





- neous catalysts", *J. Phys.: Condens. Matter*, Vol. 14, 2002, p. R31.
85. El-Sayed, M. A., "Small is different: Shape-, size- and composition – dependent properties of some colloidal semiconductor nanocrystals", *Acc. Chem. Res.*, Vol. 37, 2004, p. 326.
  86. Fierro-González, J. C., S. Kuba, Y. Hao and B. C. Gates, "Oxide- and Zeolite-Supported Molecular Metal Complexes and Clusters: Physical Characterization and Determination of Structure, Bonding, and Metal Oxidation State", *J. Phys. Chem. B*, Vol. 10, 2006, p.13326.
  87. Guzman, J. and B. C. Gates, "Supported molecular catalysts: metal complexes and clusters on oxides and zeolites", *Dalton Trans.*, 2003, No. 17, p. 3303
  88. Gates, B. C., "Oxide- and Zeolite-supported "Molecular" Metal Clusters: Synthesis, Structure, Bonding, and Catalytic Properties", *Top. Organomet. Chem.*, Vol. 16, 2005, p. 211.
  89. Alexeev, O. S. and B. C. Gates, "Supported bimetallic cluster catalysts", *Ind. Eng. Chem. Res.*, Vol. 42, 2003, p. 1571.
  90. Gates, B. C., "Supported metal cluster catalysts", *J. Mol. Catal. A: Chem.*, Vol. 163, 2000, p. 55.
  91. Almanza – Núñez, M. G. et al., "Síntesis, caracterización y aplicación de los nanomateriales en catálisis y polímeros", *Ide@sCONCYTEG*, Vol. 6, No. 72, 2011, p. 672.
  92. Kulkarni, A., R. J. Lobo-Lapidus and B. C. Gates, "Metal clusters on supports: synthesis, structure, reactivity, and catalytic properties", *Chem. Commun.*, Vol. 46, 2010, p. 57.
  93. Schmid, G. et al., "Synthesis and catalytic properties of large ligand stabilized palladium", *J. Mol. Catal. A*, Vol. 107, 16, p. 5.
  94. Schmid, G. et al., "Ligand stabilized metal clusters and colloids: properties and applications", *J. Chem. Soc., Dalton Trans.*, 16, p. 58.
  95. Schmid, G. et al., "Current and future applications of nanoclusters", *Chem. Soc. Rev.*, Vol. 28, 1, p. 17.
  96. Sinfelt, J. H., "Bifunctional Catalysis", *Adv. Chem. Engng.*, Vol. 5, 164, p. 37.
  97. Sinfelt, J. H., "Polymetallic Cluster Catalysts", *Platinum Metal Rev.*, Vol. 20, p. 4, 176, p. 114.
  98. Raithby, P. R., "The Build-Up of Bimetallic Transition Metal Clusters", *Platinum Metals Rev.*, Vol. 42, No. 4, 18, p. 146.
  99. Ortalan, V. et al., "Towards Full-structure Determination of Bimetallic Nanoparticles with an Aberration-Corrected Electron Microscope", *Nat. Nanotech.*, Vol. 5, 2010, p. 843.
  100. Knözinger, H., "Metal Clusters and Particles as Catalyst Precursors and Catalysts", *Cluster Models for Surface and Bulk Phenomena*, Vol. 283 of the series NATO ASI Series, Springer, New York, 1992, p. 131.
  101. Ferrando, Ricardo, J. Jelinek and R. L. Johnston, "Nanoalloys: From Theory to Applications of Alloy Clusters and Nanoparticles", *Chemical Reviews*, vol. 108, No. 3, April, 2008, p. 846.
  102. Zhang, Z., *Advanced Nanostructured Electro-Catalysts for Electricity Generation and Biorenewable Alcohol Conversion*, Ph. D. Thesis Chemical Engineering, Michigan Technological University, Houghton, Mich., 2012.
  103. Min, Li, "Mixed protein-templated luminescent metal clusters (Au and Pt) for H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sensing", *Nanoscale Research Letters*, Vol. 8, 2013, p. 182.
  104. Fujimoto, T. et al., "Application of metal cluster complex ion beam for low damage sputtering", *Surface and Interface Analysis*, Vol. 37, No. 2, Fe. 2005, p. 164.
  105. Goswami, N., J. Li and J. Xie, "Functionalization and Application", *Protected Metal Clusters: From Fundamentals to Applications*, *Frontiers of Nanoscience*, Richard E. Palmer, (ed.), Elsevier, Vol. 9, Amsterdam, 2015, p. 297.

# CONOCE LA BARRA ROSCADA TERNIUM



Es una barra de acero al carbono, laminada en caliente, de sección transversal resistente, con resaltes en forma de rosca helicoidal izquierda de gran paso.



**Luz Adiel Jaramillo,**  
**Jefe Departamento Construcción y Estructuras de Ternium, explica las ventajas, usos y aplicaciones de la Barra Roscada**

- Fácil instalación de la tuerca, gracias a la rosca continua sobre toda la longitud de la barra
- Puede ser utilizada sin someterse previamente a procesos de maquinado, gracias a la facilidad que ofrece el sistema de roscado; diferente de las barras convencionales, que requieren el uso de herramientas especiales para conformar la rosca. Este proceso de maquinado

disminuye la sección efectiva de la barra afectando la capacidad de carga final

- Puede ser cortada en obra a la longitud deseada, lo que facilita su manipulación y almacenamiento
- Permite el perfecto acople tuerca – barra, garantizando el adecuado desempeño del conjunto
- Garantiza la adherencia con el Grouting (lechada de cementos) o resinas
- Es un producto que tiene disponibilidad inmediata por ser fabricado en Colombia, esto contribuye a mejores tiempos de respuesta y a la reducción de inventarios en obra
- Asistencia técnica permanente en los diferentes momentos de la obra

## ¿Qué usos y aplicaciones tiene esta Barra?

Se utiliza para la fortificación y el reforzamiento de rocas, taludes y suelos. Permite mantener la integridad del terreno sometido a esfuerzos, actuando de forma efectiva a través del área reforzada.

En el caso de suelos, el uso de barras roscadas como “apuntillamiento” (soil nail), permite la construcción de estructuras de contención “in-situ” y la estabilización de taludes.

Permite sujetar taludes en suelos y/o roca que potencialmente puedan presentar fallas planares y en cuña, evitando su desprendimiento.

### La Barra Roscada Ternium se utiliza en proyectos como:

- Estabilización y reforzamiento de taludes
  - En muros y cielos de minería
  - Anclajes de maquinaria y equipos

### La Barra Roscada Ternium ha sido utilizada en obras como:

- Vía Buesaco, Nariño
- Vía Uramita, Antioquia
- Vía Buriticá, Antioquia
- Conexión Medellín - Túnel Occidente
- Vía Bolombolo - Tarso



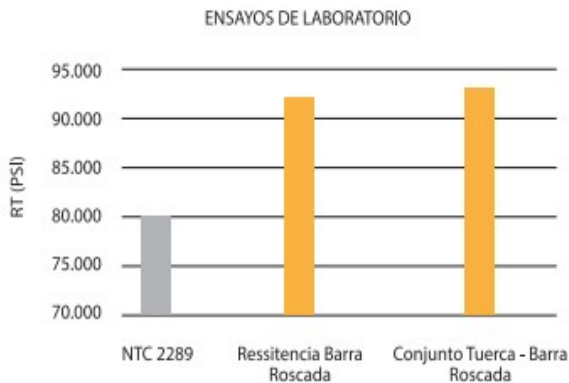




**El ingeniero Jairo Cortés,**  
**Jefe Departamento de Calidad de Ternium en Colombia, explica la norma, los ensayos y las especificaciones de la Barra Roscada**

Esta Barra cumple con las especificaciones mecánicas, según norma NTC 2289, y el diseño geométrico de la rosca tiene como referencia la norma ASTM F 432-10.

## Ensayos



## La Barra Roscada Ternium está compuesta por:



### 1 Barra Roscada

#### Normas

Fabricación:  
 NTC2289 (ASTM A706-06)

#### Aplicación

En conjunto con una tuerca y una placa de sujeción se aplica para reforzamiento de taludes, suelos y/o roca.

#### Longitudes

La longitud estándar es de 9m y 12m.

Dimensiones					
Designación	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Exterior (mm)	Paso (mm)	Altura del hilo (mm)	Peso Nominal (kg/m)
8	25.00	28.20	13.30	1.80	3.97

### Acero colombiano, Acero de Calidad

Encuentra todos los productos Ternium en Ferrasa  
[www.ternium.com.co](http://www.ternium.com.co) / [www.ferrasa.com.co](http://www.ferrasa.com.co)



### 2 Tuerca y 3 Placa



#### Normas

Tuerca: ASTM A194 Grado 2:  
 Placa de sujeción: NTC 1920  
 (ASTM A36 / A36M)

#### Descripción

Tuerca: Elemento fabricado en acero al carbono, con rosca interna de gran paso, que sirve como complemento de la Barra Roscada Ternium. Su cabeza redondeada le permite un mejor acople con la placa de sujeción.

Placa de sujeción: Placa de acero estructural, levemente cóncava para ajustarse a la superficie irregular del terreno, con una perforación en el centro, por donde se introduce la Barra Roscada Ternium y complementa el sistema.

#### Aplicación

Accesorios que, en conjunto con la Barra Roscada Ternium, se aplican para reforzamiento de taludes, suelos y/o roca.

Dimensiones Tuerca				
Designación Barra Roscada (mm)	Diámetro Exterior (mm)	Altura Total (mm)	Altura Vástago (mm)	Distancia entre Caras (mm)
8	53.80	58.50	41.50	38.00

Dimensiones Placa de sujeción				
Designación Barra Roscada	Espesor Nominal (mm)	Diámetro Nominal Orificio (mm)	Lado L (mm)	Altura Embutido (mm)
1"	9.52	44.00	150.00	24.50



# Actualidad Empresarial

## DIPLOMADO EN FORMACIÓN ESPECIALIZADA EN JOYERÍA Y TRATAMIENTO DE PIEDRAS PRECIOSAS

El grupo MAPRE (Materiales y Preciosos) del Departamento de Ingeniería Metalúrgica y de Materiales de la Universidad de Antioquia, en alianza con la Secretaría de Minas de la Gobernación de Antioquia y FENALCO, desarrolló este diplomado, con una intensidad de 200 horas y dirigido a 40 empresarios de las diferentes corporaciones joyeras del departamento de Antioquia.

Es un programa de carácter teórico-práctico donde se trabajaron las técnicas de lapidación o talla de piedras preciosas, diversos tipos de engaste de piedras, esmaltes en piezas de joyería, gemología, técnica del Mokume-gane, química metalúrgica para refinación del oro y determinación de leyes. Asimismo, se abordó recuperación de metales preciosos provenientes de residuos de joyería, refinación de metales preciosos, basuras y bombas, mediante procesos limpios que no impactan la salud y el medio ambiente.

## CENTRO DE CAPACITACIÓN PARA LA MINERÍA ARTESANAL Y DE PEQUEÑA ESCALA DE LA ALIANZA POR LA MINERÍA RESPONSABLE

La Alianza por la Minería Responsable (ARM) es una iniciativa que trabaja por el desarrollo sostenible de la Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE). Dentro de su portafolio, la ARM tiene un centro de capacitación, blog y publicaciones relacionadas con el sector.

El centro ofrece formación a la medida, de tipo presencial y virtual, con el fin de generar conocimiento, desarrollar capacidades y promover la formación de formadores.

Próximamente, abriremos un nuevo ciclo de formador de formadores y lanzaremos un micrositio sobre la MAPE.

**Le invitamos a conocer más en nuestro sitio web [www.minasresponsables.org](http://www.minasresponsables.org).**

## ALBRASS COLOMBIA S. A. S.

Ingeniería de aluminios, bronce y latones. Fundición especializada en la fabricación de piezas de aluminios, bronce y latones, utilizando los procesos de arena en verde, molde permanente y molde de precisión, para la elaboración de placas para moldes, piezas industriales y decorativas.

Entre las aleaciones ofrecidas, están: aluminios al silicio como el 356 y aluminios de alta resistencia como el 713; en las aleaciones de cobre están: los bronce al aluminio y latones al manganeso (alta resistencia).

Dirección: Calle 29 No. 55-85 Zona Industrial de Belén  
Tel. (4) 351 5158 Medellín-Colombia  
E-mail: [albrasscolombia@gmail.com](mailto:albrasscolombia@gmail.com)





Tecniquímica

**MÁQUINAS Y  
ACCESORIOS  
PARA FUNDICIÓN**



**EQUIPOS**

**MAQUINARIA**



Surface Treatment Experts  
Abrasive Process - Electroplating  
Carrera 52 No. 35-33 / Medellín

Teléfono: 57-4 4447986  
Email: [tecniq@une.net.co](mailto:tecniq@une.net.co)  
[www.tecniquimica.com](http://www.tecniquimica.com)