

# Edificios Metallo-supramoleculares Funcionales

**Palabras Claves:** Química supramolecular - Interacciones metal-ligando - Nanoreactores - Sensores - Bibliotecas dinámicas

## I. INTRODUCCIÓN

En los años ochenta, la mayoría de los trabajos relacionados con el reconocimiento molecular trataban sobre la selectividad de receptores sintéticos y la energía de las interacciones intermoleculares; se limitaban a sistemas bimoleculares. Los sistemas termoleculares tuvieron un desarrollo importante a partir de los noventa como consecuencia del aprovechamiento del efecto plantilla en la construcción de macrociclos, catenanos, rotaxanos y otros edificios moleculares.<sup>1-2</sup> Asimismo, los receptores sintéticos se hicieron cada vez más elaborados, hasta alcanzar formas muy sofisticadas, adaptadas cada una a un tipo de molécula diana. Esta aproximación covalente tiene como mayor desventaja su elevado coste sintético, así como una escasa capacidad de adaptación a cambios en las condiciones del entorno. Por esta razón, se tiende cada vez más hacia la preparación de *receptores supramoleculares*. De hecho, en la actualidad, uno de los campos más activos de la química supramolecular es el estudio de *complejos de encapsulación*, es decir, de receptores supramoleculares construidos mediante auto-ensamblaje no covalente de fragmentos complementarios, capaces de rodear una molécula diana.<sup>3</sup> Así, se habla cada vez más de plurimolecularidad, ya que existen receptores constituidos por una gran variedad de subunidades unidas entre sí por enlaces no covalentes.

Por otra parte, la inclusión de moléculas en nanocavidades da lugar a propiedades excepcionales: se han auto-ensamblado nanoreactores<sup>4</sup> en los cuales se puede modificar, inducir o catalizar una reacción, también se pueden generar nanoespacios quirales,<sup>5</sup> bibliotecas dinámicas de sensores<sup>6</sup> y estabilizar especies reactivas no aislables fuera del entorno de una cápsula supramolecular.<sup>7</sup>

Dentro de las herramientas que están a disposición del químico supramolecular para construir sistemas receptores, las interacciones metal-ligando son de las más fiables, ya que proporcionan tanto estabilidad como



**Christian G. Claessens**

Universidad Autónoma de Madrid,  
Departamento de Química Orgánica,  
28049 Madrid.

[christian.claessens@uam.es](mailto:christian.claessens@uam.es)

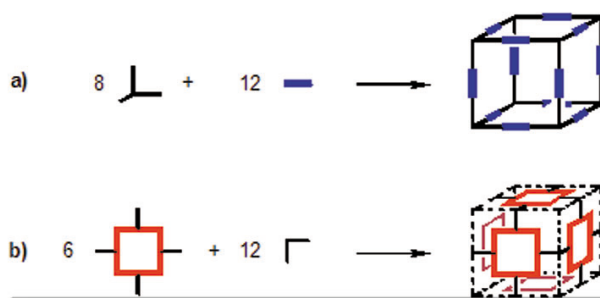
direccionalidad.<sup>8</sup> La aproximación al auto-ensamblaje mediante enlaces direccionales metal-ligando conlleva dos requisitos básicos: (i) unos precursores rígidos, complementarios, con simetría y ángulos ya definidos en función de la geometría del ensamblaje final, y (ii) la mezcla de estos precursores de acuerdo con la estequiometría del sistema deseado. Por supuesto, pueden intervenir otros parámetros

tales como el disolvente, la concentración, la temperatura y la velocidad de adición de los precursores. Teniendo en cuenta todos estos factores, las reacciones de auto-ensamblaje son generalmente cuantitativas.

En este artículo trataremos de dar una visión global sobre los *receptores supramoleculares* cuya estructura está sostenida por *interacciones metal-ligando*. No se van a tratar las redes infinitas mono-, bi- o tri-dimensionales. Nos limitaremos a estructuras discretas metalo-orgánicas y, dentro de ellas, a las que poseen una estructura tridimensional hueca, capaz de actuar como entidades receptoras funcionales.

## II. DISEÑO Y SÍNTESIS

El auto-ensamblaje mediante interacciones metal-ligando puede realizarse siguiendo dos estrategias distintas, pero relacionadas.<sup>9,10</sup> La primera es la síntesis dirigida por las aristas, en la cual los precursores definen los lados del "sólido" generado (**Figura 1a**). En este caso, los ligandos no tapan ninguna cara del edificio supramolecular. En la otra aproximación, los ligandos contienen ya las caras del ensamblaje final (**Figura 1b**).

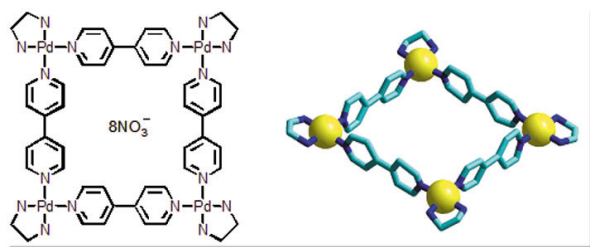


**Figura 1.** Auto-ensamblaje de sólidos metalo-orgánicos dirigido por a) las aristas y b) las caras

## II A. TIPOS DE METALES

La lista de iones metálicos útiles y utilizados para la construcción de edificios tridimensionales metalo-orgánicos está creciendo de manera continua y abarca una buena parte de los metales de transición de la tabla periódica. Es el tipo de metal empleado junto con su grado de oxidación que gobierna la colocación relativa de los ligandos en su entorno. También debe resaltarse el papel muy importante de los ligandos coordinados al metal, ya que pueden regir tanto la estabilidad del complejo como su topología. A continuación se presentan algunas arquitecturas representativas de los tipos de metales y de los tipos de coordinación logrados hasta el momento.

Los metales más empleados en la química supramolecular de los ensamblajes multicomponentes son Pd(II) y Pt(II) que permiten, cuando están adecuadamente sustituidos, lograr con fiabilidad una geometría planocuadrada.<sup>11</sup> Al principio de los años 90, Fujita et al. sintetizaron y caracterizaron un cuadrado molecular formado por cuatro unidades de 4,4'-bipiridina y cuatro metales Pd(II) (**Figura 2**).<sup>12</sup> A partir de entonces se puso de manifiesto el potencial que tenían las interacciones Pd-piridina o Pt-piridina y se desarrolló de manera exponencial esta química.

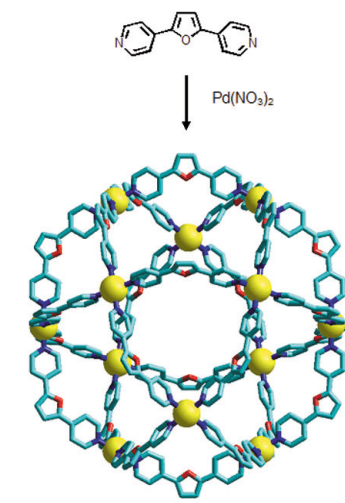


**Figura 2.** Cuadrado molecular metalo-orgánico basado en subunidades (en)Pd(II) y 4,4'-bipiridina. Estructura determinada por rayos X.

Fujita y Stang son indiscutiblemente los que más aportaciones han realizado tanto en la realización de edificios supramoleculares basados en este tipo de interacciones como en el estudio de sus funciones. Así, mientras que Fujita suele emplear complejos de Pd(II)alquildiamina o Pd(II)arildiamina que dan lugar a estructuras solubles y estables en medio acuoso,<sup>11b</sup> Stang ha desarrollado edificios supramoleculares ligeramente menos estables basados en complejos Pd(II)alquildifosfina, solubles en medios orgánicos como diclorometano o acetonitrilo.<sup>9</sup> Esta diferencia de comportamiento se puede entender si se tiene en cuenta la mayor donación electrónica al paladio de las fosfinas respecto a las aminas, lo que aumenta la labilidad del enlace Pd-piridina cuando se emplean complejos Pd(II)alquildifosfina.

Asimismo, se han auto-ensamblado varios sólidos platónicos<sup>13</sup> (octaedro<sup>14</sup> (**Figura 3**) y dodecaedro<sup>15</sup>) y sólidos de Arquímedes (tales como tetraedro truncado<sup>16</sup>

y cuboctaedro<sup>17</sup>) mediante interacciones Pd-piridina o Pt-piridina, además de formas geométricas básicas tales como cuadrados y triángulos.<sup>18,19</sup>



**Figura 3.** Autoensamblaje de un cuboctaedro a partir de 36 componentes (24 orgánicos y 12 metálicos). Estructura determinada por rayos X.

En la mayoría de los casos, se pueden emplear indistintamente paladio(II) o platino(II) para obtener arquitecturas idénticas. El platino tiene la ventaja (o desventaja según las propiedades buscadas) de conducir a sistemas cinéticamente más estables, ya que se reduce la velocidad de intercambio de los ligandos.

Se han obtenido sólidos platónicos empleando otros metales distintos a Pd(II) y Pt(II). Por ejemplo, se han sintetizado y estudiado sistemas basados en la interacción entre derivados de catecol y galio(III) (también con indio(III), Ti(IV) y Fe(III)), que da lugar a edificios tetraédricos.<sup>20,21</sup> Por otra parte, se han sintetizado varios edificios cúbicos empleando derivados de 4,4'-bipiridina y Ru(II).<sup>22</sup> Muchos otros metales se han revelado útiles para construir edificios metalosupramoleculares sin llegar nunca a alcanzar la importancia del paladio. Algunos ejemplos de ellos, con sus tipos de coordinación y la funcionalidad de los ligandos implicados, se encuentran recogidos en la referencia .

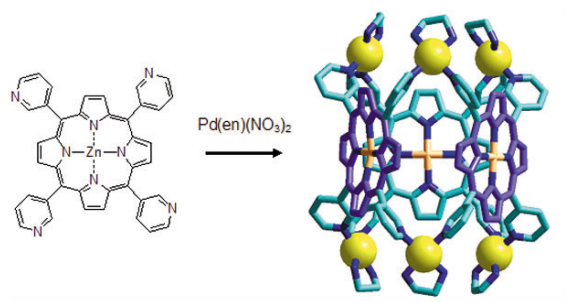
## II B. TIPOS DE LIGANDOS

La mayor parte de los ligandos empleados hasta el momento sirven de andamios moleculares pero no tienen ninguna función predeterminada, aparte de cumplir los requisitos geométricos y de interacciones metal-ligando preasignados. Sin embargo, se han sintetizado una gran variedad de ligandos con diversas geometrías y simetrías que han permitido auto-ensamblar edificios de gran belleza<sup>24</sup> y utilidad para su empleo como nanoreceptores o nanoreactores.

En contraste con las estructuras basadas en enlaces de hidrógeno que requieren componentes elaborados y que poseen una cierta curvatura, los elementos de construcción de la química metalo-supramolecular suelen ser sumamente sencillos, ya que es el metal que

aporta la inflexión deseada. Asimismo, si se busca solamente construir un cierto tipo de edificio molecular, sólo se necesitan tener en cuenta criterios topológicos. El químico orgánico tiene a su disposición un amplio abanico de herramientas sintéticas que permiten obtener sin mayor dificultad cualquier tipo de ligando orgánico. Sin embargo, las reacciones de formación de enlaces carbono-carbono mediante acoplamientos catalizados por paladio tales como las reacciones de Sonogashira, Heck o Suzuki son las más empleadas debido a su gran eficacia y su gran versatilidad.<sup>25</sup>

Los elementos estructurales básicos citados anteriormente no han sido los únicos empleados en este tipo de construcciones, y también se han logrado cápsulas metalosupramoleculares basadas en calixarenos,<sup>26</sup> ftalocianinas,<sup>27</sup> porfirinas (**Figura 4**),<sup>28</sup> cavitandos,<sup>29</sup> subftalocianinas,<sup>30</sup> resorcinarenos,<sup>31</sup> y homooxacalix [3]arenos.<sup>32</sup>



**Figura 4.** Auto-ensamblaje de un prisma formado por tres porfirinas y seis paladios. Estructura determinada por rayos X.

### III. EDIFICIOS METALO-SUPRAMOLECULARES FUNCIONALES<sup>33</sup>

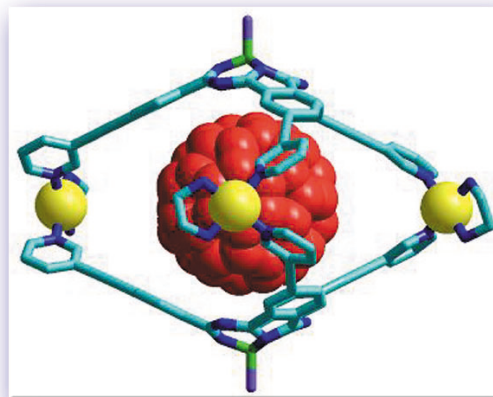
Existe un interés considerable por conseguir materiales funcionales y multifuncionales.<sup>34</sup> En este apartado se intentarán revisar los avances más significativos logrados hasta ahora con edificios metalo-supramoleculares.

#### III A. RECEPTORES METALO-ORGÁNICOS

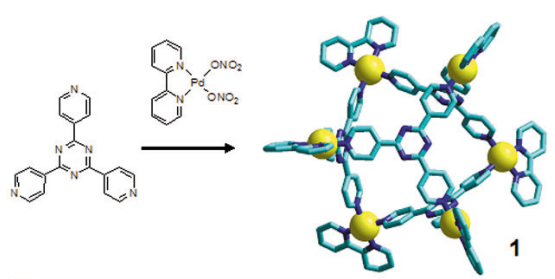
Todas la estructuras tridimensionales metalo-orgánicas poseen una cavidad susceptible de inducir propiedades especiales tales como el reconocimiento selectivo, la catálisis y el nano-confinamiento necesario para construir nano-reactores,<sup>35</sup> o para el almacenamiento de moléculas altamente reactivas como el hidrógeno.

Así, se ha auto-ensamblado un cápsula M<sub>3</sub>L<sub>2</sub> formada por dos subftalocianinas unidas entre sí por tres átomos de paladio(II), cuya cavidad central es capaz de albergar una molécula geoméricamente y electrónicamente complementaria como el fullereno C<sub>60</sub> (**Figura 5**).<sup>30</sup>

El sistema octaédrico **1** (**Figura 6**) auto-ensamblado por Fujita y col. se ha empleado como nanoreactor.<sup>36</sup> En su cavidad, se han llevado a cabo cicloadiciones [2+2] y se



**Figura 5.** Complejo formado entre una cápsula homodimérica de subftalocianinas M<sub>3</sub>L<sub>2</sub> y C<sub>60</sub>.

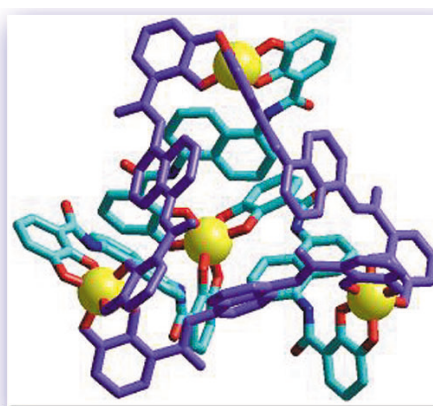


**Figura 6.** Autoensamblaje de un Octaedro funcional. Estructura determinada por rayos X.

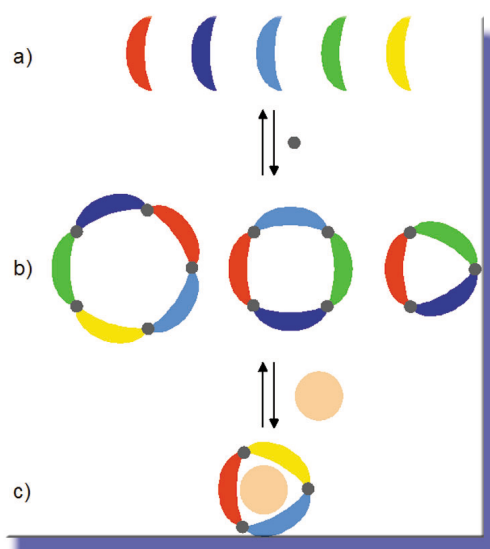
han obtenido productos que no se forman en ausencia de la cápsulas.

Además, se ha demostrado que la cápsula **1** es un agente de transferencia de fase inversa en la oxidación de Wacker de derivados de estireno en disolución acuosa. Recientemente, el sistema **1** se ha utilizado como fotosensibilizador en la oxidación fotoinducida selectiva de moléculas de adamantano encapsuladas.

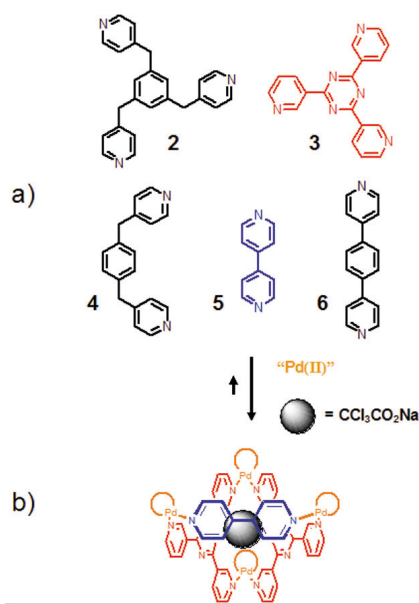
Raymond y col. han descrito un sistema metalo-orgánico basado en el ensamblaje de cuatro átomos de Ga(III) que unen cuatro ligandos aristas formando un sólido tetraédrico (**Figura 7**).<sup>37</sup> La cavidad de este receptor supramolecular tiene una especial afinidad por iones amonio estéricamente complementarios.



**Figura 7.** Ensamblaje tetraédrico funcional formado por cuatro ligandos aristas y cuatro Ga(III).<sup>38</sup>



**Figura 8.** Principio de una biblioteca combinatoria dinámica metalosupramolecular: a) elementos de partida de la biblioteca, b) biblioteca combinatoria dinámica formada una vez los elementos en presencia de un metal, c) biblioteca combinatoria dinámica a la que se ha añadido una molécula diana.

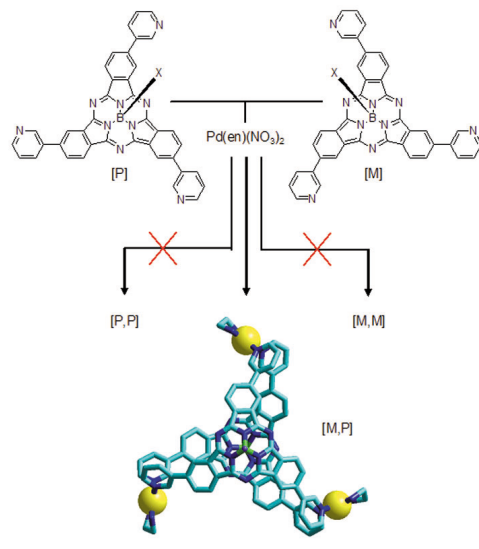


**Figura 9.** a) Componentes de partida de una biblioteca combinatoria dinámica metalosupramolecular elaborada por Fujita et col.<sup>39</sup> b) Componente de la biblioteca amplificado después de la adición de  $\text{Cl}_3\text{CCO}_2\text{H}$ .

Muy recientemente, esta cápsula ha mostrado un efecto catalítico muy importante en la reacción de aza-Cope, ya que acelera 1000 veces esta reacción.<sup>37</sup>

### III B. ASPECTOS DINÁMICOS

Las interacciones metal-ligando también se pueden emplear para crear lo que se denominan comúnmente *bibliotecas combinatorias dinámicas*. En este caso, se sintetizan una variedad de ligandos precursores que a su vez son capaces de generar una gran diversidad de cápsulas en presencia de los metales adecuados,



**Figura 10.** Auto-ensamblaje auto-discriminativo de una caja metalo-orgánica formada por 2 subftalocianinas y tres paladios (II).<sup>32</sup>

estando cada cápsula así formada en equilibrio termodinámico con las otras. Cuando se añade una molécula diana a esta mezcla equilibrada se puede, en algunos casos, modificar el equilibrio hacia la formación del receptor más adecuado para la molécula diana (**Figura 8**).

Por ejemplo, a partir de los precursores **2-6** (**Figura 9**), y en presencia de Pd(II), se obtiene una biblioteca combinatoria dinámica de receptores supramoleculares muy homogénea. Sin embargo, al añadir tricloroacetato sódico se aumenta sensiblemente la proporción del receptor formado por dos unidades de **3** y una de **5**, unidos entre sí por cuatro átomos de Pd(II)<sup>38</sup> desplazando el equilibrio termodinámico hacia la formación del mejor receptor. Se han publicado otros ejemplos similares de bibliotecas combinatorias dinámicas basadas en edificios metalo-orgánicos.<sup>31b,39</sup>

### III B. ASPECTOS RELACIONADOS CON LA QUIRALIDAD

A partir de precursores quirales se pueden obtener *cápsulas quirales* con un cierto grado de estereoselectividad según el grado de preorganización programada dentro de estos precursores. Existen dos tipos de procesos estereoselectivos: el auto-reconocimiento (entre dos enantiómeros iguales) y la auto-discriminación (cuando se reconocen dos enantiómeros opuestos). Por ejemplo, la cápsula formada por dos subftalocianinas y tres átomos de paladio(II) (**Figura 10**) se forma de manera auto-discriminativa.<sup>32</sup>

Son pocos los ejemplos que vinculan la química metalo-supramolecular de cápsulas y la quiralidad, ya que estos sistemas suelen ser bastante difíciles de caracterizar sin tener que añadir otro elemento de complejidad.<sup>40</sup> Se ha demostrado que el tetraedro de Raymond

(Figura 6) es una mezcla racémica que, no solamente se ha podido resolver, sino que también se ha observado que el intercambio de ligando (arista en este caso) dentro de un solo enantiómero ocurre con retención total de la configuración. De este modo, se puede decir que este edificio supramolecular conserva la memoria de su quiralidad original.<sup>37</sup> La generación de un espacio quiral a escala nanométrica permite pensar en receptores quirales capaces de controlar la estereoquímica de las reacciones.

### III. CONCLUSIONES

Es posible crear cápsulas metalo-orgánicas capaces de cumplir distintas funciones. En relación con los nanoreactores queda mucho trabajo por hacer para conseguir entender los mecanismos que gobiernan las reacciones nanoconfinadas. También es necesario mejorar la actividad catalítica de estos sistemas. Uno de los

temas más importantes dentro de un futuro próximo será poder controlar la estereoquímica de las reacciones dentro de cavidades quirales diseñadas especialmente. La mayor parte de los esfuerzos realizados hasta ahora se han dirigido hacia el auto-ensamblaje de varios tipos de sólidos cuya "función" es consecuencia directa de su "forma". Casi ningún autor ha intentado sacar partido de los elementos estructurales, tanto los ligandos como los metales, para realizar materiales funcionales. No se podrán emplear estos edificios metalo-supramoleculares en dispositivos electrónicos o magnéticos si no se tiene en cuenta el papel de los "ladrillos" moleculares.

### AGRADECIMIENTOS

CGC agradece al ministerio de Educación y Ciencia por un contrato Ramón y Cajal y al Prof. Tomás Torres por su confianza y apoyo.

### REFERENCIAS:

1. a) S. Anderson, H. L. Anderson, J. K. M. Sanders, *Acc. Chem. Res.* **1993**, *26*, 469. b) J.-M. Lehn, *Science* **1993**, *260*, 1762.
2. a) *Templated Organic Synthesis* (Eds.: F. Diederich, P. J. Stang), Wiley-VCH, Weinheim, **1999**. b) D. B. Amabilino, F. M. Raymo, J. F. Stoddart, *Comprehensive Supramolecular Chemistry* **1996**, *9*, 85-130.
3. a) D. Fiedler, D. H. Leung, R. G. Bergman, K. N. Raymond, *Acc. Chem. Res.* **2005**, *38*, 349. b) J. Rebek Jr., *Acc. Chem. Res.* **1999**, *32*, 278.
4. D. M. Vriezema, M. C. Aragonés, J. A. A. W. Elemans, J. J. L. M. Cornelissen, A. E. Rowan, R. J. M. Nolte, *Chem. Rev.* **2005**, *105*, 1445.
5. J. M. Rivera, T. Martin, J. Rebek Jr., *J. Am. Chem. Soc.* **2001**, *123*, 5213.
6. J.-M. Lehn, A. V. Eliseev, *Science* **2001**, *291*, 2331.
7. J. L. Brumaghim, M. Michels, D. Pagliero, K. N. Raymond, *Eur. J. Org. Chem.* **2004**, 5115.
8. *Transition Metals in Supramolecular Chemistry* (Ed.: J.-P. Sauvage), John Wiley & Sons, Chichester, **1999**.
9. S. Russell Seidel, P. J. Stang, *Acc. Chem. Res.* **2002**, *35*, 972.
10. B. J. Holliday, C. A. Mirkin, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2001**, *40*, 2022.
11. a) M. Fujita, K. Umemoto, M. Yoshizawa, N. Fujita, T. Kusukawa, K. Biradha, *Chem. Commun.* **2001**, 509. b) M. Fujita, M. Tominaga, A. Hori, B. Therrien, *Acc. Chem. Res.* **2005**, 369.
12. M. Fujita, J. Yazaki, K. Ogura, *J. Am. Chem. Soc.* **1990**, *112*, 5645.
13. Sitio web donde se puede encontrar una descripción detallada de estos sólidos:  
[www.amejor.com/mates/poliedros/descripcion.htm](http://www.amejor.com/mates/poliedros/descripcion.htm). También ver: L. R. MacGillivray, J. L. Atwood, *Angew. Chem. Int. Ed.* **1999**, *38*, 1018.
14. M. Fujita, D. Oguro, M. Miyazawa, H. Oka, K. Yamaguchi, K. Ogura, *Nature* **1995**, *378*, 469.
15. B. Olenyuk, M. D. Levin, J. A. Whiteford, J. E. Shield, P. J. Stang, *J. Am. Chem. Soc.* **1999**, *121*, 10434.
16. a) S. Leininger, J. Fan, M. Schmitz, P. J. Stang, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **2000**, *97*, 1380. b) M. Schweiger, T. Yamamoto, P. J. Stang, D. Bläser, R. Boese, *J. Org. Chem.* **2005**, *70*, 4861.
17. a) B. Olenyuk, J. A. Whiteford, A. Fechtenkötter, P. J. Stang, *Nature* **1999**, *398*, 796. b) M. Tominaga, K. Suzuki, M. Kawano, T. Kusukawa, T. Ozeki, S. Sakamoto, K. Yamaguchi, M. Fujita, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2004**, *43*, 2.
18. a) R.-D. Schnebeck, E. Freisinger, F. Glahé, B. Lippert, *J. Am. Chem. Soc.* **2000**, *122*, 1381. b) O. Mamula, A. von Zelewsky, P. Brodard, C. Wilhelm Schlaepfer, G. Bernardinelli, H. Stoeckli-Evans, *Chem. Eur. J.* **2005**, *11*, 3049.
19. a) G. F. Swiegers, T. J. Malefetse, *Chem. Rev.* **2000**, *100*, 3483. b) S. Leininger, B. Olenyuk, P. J. Stang, *Chem. Rev.* **2000**, *100*, 853. c) P. J. Stang, B. Olenyuk, *Acc. Chem. Res.* **1997**, *30*, 502.
20. D. L. Caulder, K. N. Raymond, *J. Chem. Soc., Dalton Trans.* **1999**, 1185.
21. M. Albrecht, I. Janser, R. Fröhlich, *Chem. Commun.* **2005**, 157.
22. S. Roche, C. Haslam, S. L. Heath, J. A. Thomas, *Chem. Commun.* **1998**, 1681.
23. S. Alvarez, *Anales de Química* **2003**, *99*, 29.
24. J. de Mendoza, *Anales de Química* **2003**, *99*, 18.
25. *Metal-Catalyzed Cross-Coupling Reactions*; (Eds. A. de Meijere, F. Diederich) Wiley-VCH, Weinheim, 2004.
26. Z. Zhong, A. Ikeda, M. Ayabe, S. Shinkai, S. Sakamoto, K. Yamaguchi, *J. Org. Chem.* **2001**, *66*, 1002.
27. N. Kobayashi, A. Muranaka, V. N. Nemykin, *Tetrahedron Lett.* **2001**, *42*, 913.
28. a) A. Ikeda, M. Ayabe, S. Shinkai, S. Sakamoto, K. Yamaguchi, *Org. Lett.* **2000**, *2*, 3707. b) P. J. Stang, J. Fan, B. Olenyuk, *Chem. Commun.* **1997**, 1453. c) N. Fujita, K. Biradha, M. Fujita, S. Sakamoto, K. Yamaguchi, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2001**, *40*, 1718.
29. a) F. Fochi, P. Jacopozzi, E. Wegelius, K. Rissanen, P. Cozzini, E. Marastoni, E. Fisticaro, P. Manini, R. Fokkens, E. Dalcanale, *J. Am. Chem. Soc.* **2001**, *123*, 7539. b) K. Kobayashi, Y. Yamada, M. Yamanaka, Y. Sei, K. Yamaguchi, *J. Am. Chem. Soc.* **2004**, *126*, 13896.
30. a) C. G. Claessens, T. Torres, *J. Am. Chem. Soc.* **2002**, *124*, 14522. b) C. G. Claessens, T. Torres, *Chem. Commun.* **2004**, 1298.
31. C. W. Lim, J.-I. Hong, *Tetrahedron Lett.* **2000**, *41*, 3113.

## REFERENCIAS:

32. A. Ikeda, S. Nobukuni, H. Udzu, Z. Zhong, S. Shinkai, *Eur. J. Org. Chem.* **2000**, 3287.
33. a) C. A. Schalley, A. Lützen, M. Albrecht, *Chem. Eur. J.* **2004**, *10*, 1072. b) A. Lützen, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2005**, *44*, 1000.
34. E. Coronado, *Anales de Química* **2003**, *99*, 151.
35. D. Fiedler, D. H. Leung, R. G. Bergman, K. N. Raymond, *Acc. Chem. Res.* **2005**, *38*, 325.
36. a) M. Fujita, K. Umemoto, M. Yoshizawa, N. Fujita, T. Kusukawa, K. Virada, *Chem. Commun.* **2001**, 509. b) H. Ito, T. Kusukawa, M. Fujita, *Chem. Lett.* **2000**, 598. c) T. Kusukawa, M. Yoshizawa, M. Fujita, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2002**, *41*, 1347. d) M. Yoshizawa, Y. Takeyama, T. Okano, M. Fujita, *J. Am. Chem. Soc.* **2003**, *125*, 3243. e) T. Kusakawa, T. Nakai, T. Okano, M. Fujita, *Chem. Lett.* **2003**, 284.
37. a) D. H. Leung, D. Fiedler, R. G. Bergman, K. N. Raymond, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2004**, *43*, 963. b) D. L. Caudler, R. E. Powers, T. N. Parac, K. N. Raymond, *Angew. Chem. Int. Ed.* **1998**, *37*, 1840. c) M. Ziegler, J. L. Brumaghim, K. N. Raymond, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2000**, *39*, 4119. d) M. Ziegler, A. V. Davis, D. W. Johnson, K. N. Raymond, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2003**, *42*, 665. e) D. Fiedler, D. H. Leung, R. G. Bergman, K. N. Raymond, *J. Am. Chem. Soc.* **2004**, *126*, 3674.
38. Y. Kubota, S. Sakamoto, K. Yamaguchi, M. Fujita, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **2002**, *99*, 4854.
39. a) M. Albrecht, I. Janser, J. Runsink, G. Raabe, P. Weis, R. Froehlich, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2004**, *43*, 6662. b) S. Hiraoka, M. Fujita, *J. Am. Chem. Soc.* **1999**, *121*, 10239. c) Y. Yamanoi, Y. Sakamoto, T. Kusukawa, M. Fujita, S. Sakamoto, K. Yamaguchi, *J. Am. Chem. Soc.* **2001**, *123*, 980.
40. a) Z. Zhong, A. Ikeda, S. Shinkai, S. Sakamoto, K. Yamaguchi, *Org. Lett.* **2001**, *3*, 1085. b) M. Albrecht, M. Schneider, H. Röttele, *Angew. Chem. Int. Ed.* **1999**, *38*, 557.

## Normas de publicación

### Normas de publicación en Anales de la Real Sociedad Española de Química.

**A**nales de la Real Sociedad Española de Química publica trabajos científicos especializados o de revisión, de divulgación en el campo de la química que sean de calidad e interés para la mayoría de los profesionales de la docencia, investigación y de la industria química.

Nuestra revista presta una atención especial a la "Química y Medio Ambiente", por lo que los trabajos científicos divulgativos en este campo serán igualmente considerados. Serán también bienvenidos aquellos trabajos sobre historia didáctica de nuestra disciplina, así como los dedicados a la docencia teórica y práctica de la química en cualquiera de sus niveles. Los manuscritos deberán enviarse en versión informatizada en diskete mediante los procesadores de texto habituales, escritos a doble espacio y con una extensión máxima de 15 páginas (figuras no incluidas), junto con dos copias impresas y una fotografía del autor o autores, (preferiblemente no de tipo carnet).

Se sugiere la confección del manuscrito según las normas generales de publicación de la ACS.

Finalmente, se sugiere a los autores el envío de figuras o fotografías en color (en papel, diapositivas o digitalizadas en formato .tiff) para una mejor calidad de impresión e ilustración de su artículo.

Todo el material antes reseñado debe enviarse a:



Real Sociedad Española de Química.  
Editor  
Ciudad Universitaria  
Facultad de Química  
Universidad Complutense  
28040 Madrid