

# La creciente versatilidad del catión TEMPO<sup>+</sup> en síntesis orgánica

## The rising versatility of TEMPO<sup>+</sup> cation in organic synthesis

Pedro López-Mendoza y Fernando Sartillo-Piscil\*

Centro de Investigación de la Facultad de Ciencias Químicas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), Puebla, México.

### PALABRAS CLAVE:

Catión TEMPO<sup>+</sup>  
Funcionalización C(sp<sup>3</sup>)-H  
Ácido de Lewis  
Reordenamiento de Ferrier  
Libre de metales de transición

### KEYWORDS:

TEMPO<sup>+</sup> cation  
C(sp<sup>3</sup>)-H Functionalization  
Lewis Acid  
Ferrier rearrangement  
Transition-metal-free

### RESUMEN:

El catión 2,2,6,6-tetrametilpiperidina-*N*-oxoammonio (TEMPO<sup>+</sup>) y derivados, han encontrado diversas aplicaciones en síntesis orgánica, principalmente como oxidante de alcoholes. Sin embargo, el TEMPO<sup>+</sup> también ha resultado ser un reactivo eficiente y selectivo para la funcionalización C(sp<sup>3</sup>)-H de *N*-heterociclos, y recientemente se descubrió que actúa como ácido de Lewis en reacciones de adición electrofílica, ordenamiento de Nazarov y re-arreglo de Ferrier. Debido a su naturaleza no metálica, alta estabilidad y baja toxicidad, el TEMPO<sup>+</sup> y derivados se consideran reactivos "verdes". Por tanto, en este artículo exploraremos brevemente la evolución de la química del TEMPO<sup>+</sup> y su aplicación en diversas transformaciones químicas. Mostraremos ejemplos representativos y describiremos sus mecanismos de reacción para resaltar el privilegiado papel que el TEMPO<sup>+</sup> juega en síntesis orgánica.

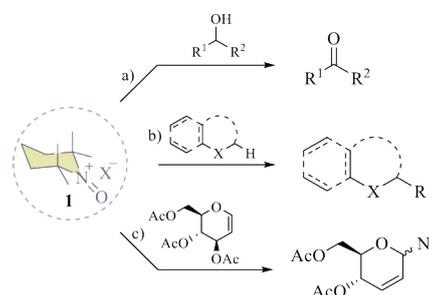
### ABSTRACT:

Cation derived from the tetramethylpiperidine-*N*-oxoammonium (TEMPO<sup>+</sup>) have found several applications in organic synthesis, mainly as oxidizing agents for obtaining carbonyls from alcohols. TEMPO<sup>+</sup> has also proven to be highly efficient and selective for promoting C(sp<sup>3</sup>)-H functionalization of *N*-heterocycles. Recently, it was discovered that can act as Lewis acid in electrophilic addition reactions, Nazarov and Ferrier rearrangement. Owing to their non-metallic nature, high stability, and low toxicity, TEMPO<sup>+</sup> cations are highly valuable and affordable reagents. In this article, we will briefly explore the evolution of the chemistry of the TEMPO<sup>+</sup> and its application in different chemical transformations. We will show some representative examples describing certain key reaction mechanisms to highlight the privileged role that TEMPO<sup>+</sup> plays in organic synthesis.

## 1. Introducción

Desde que Golubev descubrió en 1965 las propiedades oxidantes del catión 2,2,6,6-tetrametilpiperidina-1-oxoammonio (TEMPO<sup>+</sup>, **1**),<sup>[1]</sup> esta especie química ha sido ampliamente aprovechada en síntesis orgánica debido a su versátil e intrínseca reactividad. Su uso común es el de agente oxidante no metálico para la obtención de aldehídos y cetonas a partir de alcoholes primarios y secundarios, respectivamente (Esquema 1a).<sup>[2-4]</sup> Y, aunque en las últimas dos décadas se ha realizado una intensa investigación en el desarrollo de nuevas metodologías sintéticas para la funcionalización C(sp<sup>3</sup>)-H catalizada por metales de transición, el catión TEMPO<sup>+</sup> ha resultado ser un buen reactivo no metálico para la funcionalización selectiva de enlaces C(sp<sup>3</sup>)-H<sub>α</sub>, especialmente en *N*-heterociclos (Esquema 1b).<sup>[5]</sup> Recientemente, se ha descubierto que el catión TEMPO<sup>+</sup> puede funcionar como ácido de Lewis. Por ejemplo, en el reordenamiento de Ferrier (Esquema 1c).<sup>[6-7]</sup> Sin embargo, los rasgos más distintivos de este agente químico son su poca o nula toxicidad y su elevada estabilidad a la intemperie; y debido a su naturaleza no metálica, permite

que las reacciones se lleven a cabo bajo condiciones suaves, en donde no se requiere atmósfera inerte ni disolventes anhidros.



Esquema 1. Distinta reactividad del catión TEMPO<sup>+</sup>.

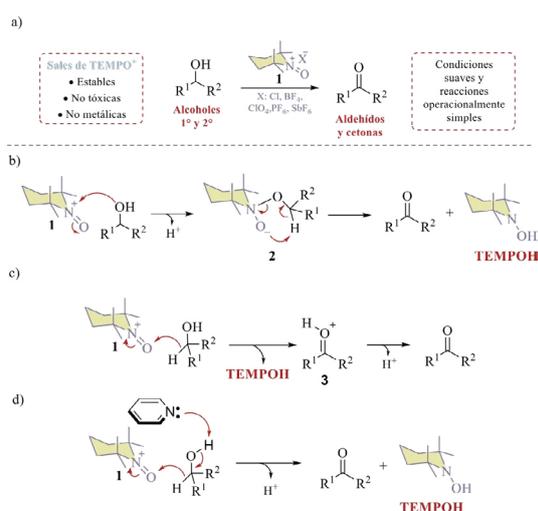
## 2. Aplicación del catión TEMPO<sup>+</sup>

### 2.1. Oxidación de alcoholes a aldehídos y cetonas

En 1965, Golubev y colaboradores reportaron la obtención del cloruro de 2,2,6,6-tetrametil-4-hidroxipiperidina-1-oxoammonio a

partir de la oxidación del radical 2,2,6,6-tetrametil-4-hidroxipiperidina-1-oxil con cloro molecular.<sup>[11]</sup> Este compuesto, descrito como una sal diamagnética de color brillante, resultó ser un agente oxidante efectivo para la obtención de aldehídos y cetonas a partir de alcoholes primarios y secundarios, respectivamente. A raíz de este trabajo, varios grupos de investigación comenzaron a explorar la reactividad del catión TEMPO<sup>+</sup> y desarrollaron distintos protocolos para la oxidación de alcoholes primarios y secundarios empleando cantidades estequiométricas o catalíticas a partir de un derivado del radical TEMPO (2,2,6,6-tetrametilpiperidina-1-oxil) en presencia de un agente co-oxidante.<sup>[4]</sup> Por tanto, la química del TEMPO<sup>+</sup> ha sido ampliamente adoptada en síntesis orgánica como un método efectivo, selectivo, sostenible y operacionalmente simple para la obtención de compuestos carbonílicos (Esquema 2a).

Desde su descubrimiento, el estudio del mecanismo de reacción de las oxidaciones mediadas por el TEMPO<sup>+</sup> ha sido objeto de intensas investigaciones. En su publicación inicial, Golubev propuso que la formación del compuesto carbonílico a partir del alcohol podía ocurrir a través de la formación del intermediario **2**, generado por la adición nucleofílica del alcohol al átomo de nitrógeno del catión TEMPO<sup>+</sup>, seguida de una eliminación concertada intramolecular (Esquema 2b).<sup>[11]</sup> Posteriormente, a partir de un estudio cinético, el mismo Golubev propuso que la oxidación del alcohol ocurría mediante la transferencia de un hidruro desde el enlace C-H adyacente al grupo hidroxilo hacia el átomo de oxígeno del catión TEMPO<sup>+</sup>, para formar el correspondiente compuesto carbonílico y 2,2,6,6-tetrametilpiperidin-1-ol (TEMPOH), tal como se muestra en el esquema 2c.<sup>[8]</sup> Más adelante, Semmelhack y colaboradores realizaron estudios cinéticos con distintos alcoholes bencílicos, a partir de los cuales, excluyeron un posible mecanismo de transferencia de hidruro.<sup>[9]</sup> Al mismo tiempo, mediante la determinación del efecto cinético isotópico de deuterio y experimentos de adición nucleofílica sobre el catión TEMPO<sup>+</sup>, validaron la formación del intermediario **2** propuesto por Golubev, y al que llamaron complejo de preoxidación (Esquema 2b). El mecanismo mostrado en el esquema 2b fue soportado posteriormente con un estudio computacional de DFT (B3LYP/6-31+G\*) por Bobbit y colaboradores, en el cual, estudiaron la oxidación de alcoholes primarios y secundarios por el catión TEMPO<sup>+</sup> en medio básico.<sup>[10]</sup>



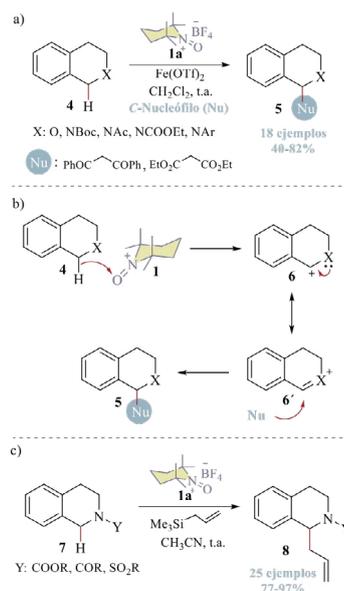
**Esquema 2.** Oxidación de alcoholes con TEMPO<sup>+</sup>. a) Reacción general. b) Mecanismo de formación del complejo de preoxidación. c) Mecanismo de transferencia de hidruro. d) Mecanismo de transferencia de hidruro mediado por una base.

Sin embargo, más tarde el propio Bobbit, consciente de que la adición del alcohol hacia el átomo de nitrógeno presenta demasiado impedimento estérico y basado en algunos antecedentes, se inclinó por el mecanismo de transferencia de hidruro (Esquema 2c).<sup>[11]</sup> Sabiendo, a partir de datos experimentales, que la presencia de una base como la piridina acelera la velocidad de la reacción, finalmente propuso que la transferencia de hidruro es acelerada por la base, tal como se muestra en el esquema 2d. Cálculos computacionales realizados por Leadbeater y colaboradores,<sup>[12]</sup> han permitido unificar este mecanismo de reacción, el cual, actualmente es el más aceptado para la oxidación de alcoholes a compuestos carbonílicos.

Todos los datos experimentales y computacionales colectados por diferentes grupos de investigación durante el estudio del mecanismo de reacción discutido en esta sección sentaron las bases para el entendimiento de la reactividad del catión TEMPO<sup>+</sup> y permitieron explorar otros procesos químicos, ampliando así las aplicaciones sintéticas de esta especie química.

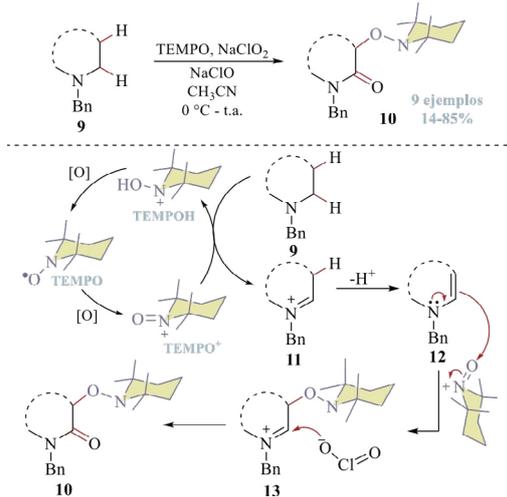
## 2.2 Funcionalización C(sp<sup>3</sup>)-H<sub>α</sub> de N-heterociclos

El reconocimiento de que el catión TEMPO<sup>+</sup> puede reaccionar a través de un proceso de transferencia de hidruro sentó las bases para explorar la funcionalización de enlaces C(sp<sup>3</sup>)-H<sub>α</sub> en N-heterociclos. En este contexto, García-Manchego y colaboradores reportaron en 2010 la funcionalización C(sp<sup>3</sup>)-H<sub>α</sub> de isocromanos y de tetrahidroisoquinolinas N-sustituidas **4**→**5** empleando distintos nucleófilos de carbono y TEMPO<sup>+</sup>BF<sub>4</sub><sup>-</sup> en presencia de Fe(OTf)<sub>2</sub> (Esquema 3a).<sup>[13]</sup> De manera similar a las oxidaciones de alcoholes, García-Manchego propuso que esta funcionalización C(sp<sup>3</sup>)-H<sub>α</sub> inicia con la transferencia de hidruro para formar el carbocatión **6**, el cual, se encuentra estabilizado por el heteroátomo adyacente (Esquema 3b). Finalmente, el ataque del nucleófilo a **6**<sup>+</sup> genera el producto final **5**. Por su parte, Wang y colaboradores reportaron la alilación C(sp<sup>3</sup>)-H<sub>α</sub> de N-acil y N-sulfonyl tetrahidroisoquinolinas utilizando aliltrimetilsilano (alilTMS) como nucleófilo y TEMPO<sup>+</sup>BF<sub>4</sub><sup>-</sup> (Esquema 3c).<sup>[14]</sup> Es conveniente resaltar que estas funcionalizaciones C(sp<sup>3</sup>)-H<sub>α</sub> libres de metales de transición ocurren bajo condiciones suaves, a temperatura ambiente e incluso expuestas al aire con tan solo una ligera disminución del rendimiento de la reacción.



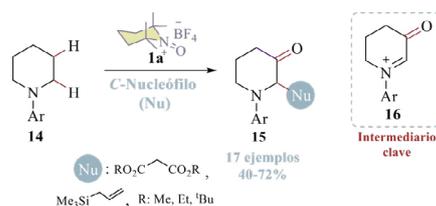
**Esquema 3.** a) Funcionalización C(sp<sup>3</sup>)-H<sub>α</sub> de N-heterociclos mediada por TEMPO<sup>+</sup> reportada por García-Manchego b) Mecanismo de reacción propuesto por García-Manchego. c) Funcionalización C(sp<sup>3</sup>)-H<sub>α</sub> de N-heterociclos mediada por TEMPO<sup>+</sup> reportada Wang.

Por casi una década, nuestro grupo de investigación ha dedicado grandes esfuerzos al desarrollo de reacciones eficientes, económicas y ecológicas para la funcionalización C(sp<sup>3</sup>)-H de *N*-heterociclos promovida por el catión TEMPO<sup>+</sup>. En 2016 reportamos una nueva reacción de doble oxidación C(sp<sup>3</sup>)-H<sub>α,β</sub> de *N*-heterociclos para la obtención de alcoxiiminolactamas, aprovechando, no solo la capacidad del catión TEMPO<sup>+</sup> para extraer hidruros, sino también su naturaleza electrofílica (Esquema 4).<sup>[16]</sup> En este sistema de reacción, compuesto por la triada NaClO<sub>2</sub>, NaClO, y TEMPO, el catión TEMPO<sup>+</sup> es generado *in situ* por la oxidación del TEMPO con el NaClO, mientras que el NaClO<sub>2</sub> actúa como nucleófilo. La propuesta mecanística para esta transformación involucra como primer paso la transferencia de hidruro hacia el TEMPO<sup>+</sup> para formar el ión iminio **11**. Posteriormente, el medio ligeramente ácido promueve la eliminación de un protón y subsecuente formación de la enamina **12** seguido de la adición electrofílica del TEMPO<sup>+</sup> para generar el ion iminio **13**, que es atacado por el clorito de sodio y así formar la alcoxiiminolactama **10**. Una de las principales características de este protocolo es que las reacciones se llevan a cabo bajo condiciones *open-flask* y no requiere de disolventes anhidros, por lo que son operacionalmente simples. Además, las alcoxiiminolactamas obtenidas con este método han sido aprovechadas como intermediarios claves en la síntesis total de distintos alcaloides biológicamente activos.<sup>[16-19]</sup>



**Esquema 4.** Doble oxidación C-H<sub>α,β</sub> de *N*-heterociclos mediada por el catión TEMPO<sup>+</sup>.

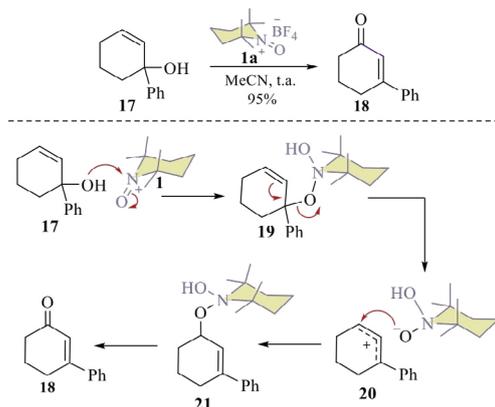
Basados en nuestro trabajo, recientemente el grupo de He, Fan y colaboradores desarrollaron una doble funcionalización C-H<sub>α,β</sub> *N*-arilpiperidinas promovida por TEMPO<sup>+</sup> para la obtención de *N*-heterociclos α-sustituidos-β-oxo. En esta notable publicación, este grupo de investigación fue capaz de generar nuevos enlaces C-C al capturar el ion iminio intermediario **16**, formado por la acción del TEMPO<sup>+</sup>, con distintos nucleófilos de carbono (Esquema 5).<sup>[20]</sup>



**Esquema 5.** Doble funcionalización C-H<sub>α,β</sub> of *N*-arilpiperidinas promovida por el catión TEMPO<sup>+</sup>.

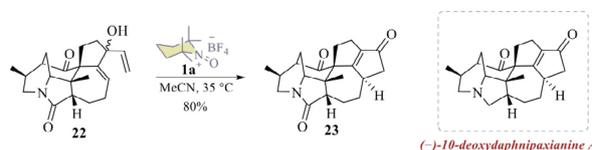
### 2.3. El catión TEMPO<sup>+</sup> como ácido de Lewis y activador electrofílico

Desde los primeros estudios sobre la oxidación de alcoholes con el catión TEMPO<sup>+</sup>, existían evidencias sobre la naturaleza electrofílica del fragmento <sup>+</sup>N=O y su capacidad de aceptar electrones. En este contexto, Iwabuchi y colaboradores reportaron en 2008 un re-arreglo oxidativo de alcoholes terciarios alílicos para obtener compuestos carbonílicos α,β-insaturados (Esquema 6).<sup>[21]</sup> En esta publicación, los autores sugieren que el catión TEMPO<sup>+</sup> activa al alcohol terciario con la formación del intermediario **19**, el cual, genera el carbocatión alílico **20** que es atrapado posteriormente por el fragmento TEMPO para generar el intermediario **21**, que finalmente da lugar al producto de la reacción.



**Esquema 6.** Reordenamiento de alcoholes terciarios alílicos mediado por el catión TEMPO<sup>+</sup>.

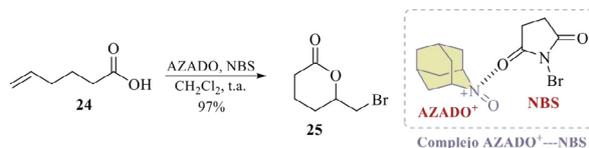
Recientemente, Xu y colaboradores aplicaron las condiciones de reacción reportadas por Iwabuchi para realizar una reacción de Nazarov, comúnmente promovida por un ácido de Lewis o Bronsted, sobre un intermediario avanzado en la síntesis total del alcaloide (-)-10-deoxydaphnipaxianine A (Esquema 7).<sup>[22]</sup> En este caso, el catión TEMPO<sup>+</sup> reacciona con el fragmento hidroxi-divinílico de **22** para generar un carbocatión pentadienilo, que después de una serie de eventos da lugar a la formación del producto **23**. Este ejemplo permite destacar la eficiencia y la selectividad del catión TEMPO<sup>+</sup> en un contexto estructuralmente complejo, además de las condiciones suaves a las que se lleva a cabo la reacción.



**Esquema 7.** Reordenamiento de Nazarov promovido por TEMPO<sup>+</sup> aplicado en la síntesis total de (-)-10-deoxydaphnipaxianine A.

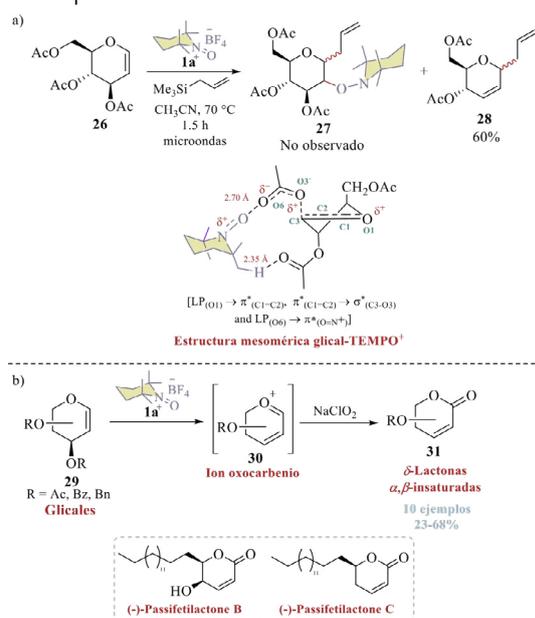
La reactividad del catión TEMPO<sup>+</sup> como ácido de Lewis ha sido poco explorada; sin embargo, en 2021 Moriyama propuso, apoyado en cálculos computacionales, que el catión oxoammonio derivado de AZADO (2-azaadamantano-*N*-oxil) es capaz de activar a la *N*-bromosuccinimida mediante la formación de un complejo AZADO<sup>+</sup>---NBS (Esquema 8).<sup>[23]</sup> Así, la formación de este complejo genera una mayor cantidad de carga positiva (calculada usando un análisis poblacional de Mulliken)

en el átomo de bromo del complejo, promoviendo una reacción de bromolactonización de ácidos carboxílicos alquénicos (**24** → **25**).



**Esquema 8.** Reacción de bromolactonización promovida por el catión oxoammonio AZADO<sup>+</sup>.

Nuestro interés por la química del catión TEMPO<sup>+</sup> y por la síntesis orgánica bajo el concepto del *Chiron Approach*, en particular con derivados de carbohidratos, nos llevó a conjuntar estas dos líneas de investigación y explorar la reactividad del catión TEMPO<sup>+</sup> frente a glicales peracetilados en presencia de *allilTMS*. Aunque inicialmente esperábamos la formación del producto **27**, por analogía con la obtención de las alcoxiainolactamas (ver Esquema 4), para nuestra grata sorpresa, observamos únicamente la formación del producto del reordenamiento de Ferrier, es decir, el C-glicósido **28** (Esquema 9a). Este resultado nos llevó a emprender un estudio teórico-experimental para determinar la forma en que el catión TEMPO<sup>+</sup> promueve este reordenamiento. Después de una serie de experimentos y cálculos computacionales, llegamos a la conclusión de que el catión TEMPO<sup>+</sup> actúa como un ácido de Lewis que promueve la formación del catión oxocarbenio vinílico, el cual es el intermediario clave en el reordenamiento de Ferrier. A partir de un análisis de los orbitales naturales de enlace (NBO por sus siglas en inglés) y un cálculo de las cargas atómicas usando un análisis poblacional de Mulliken, se propuso la interacción entre el átomo de oxígeno del grupo acetilo en C-3 en el glicol y el átomo de oxígeno del catión TEMPO<sup>+</sup>, el cual favorece la estructura mesomérica glical-TEMPO<sup>+</sup> (Esquema 9a).<sup>[6]</sup> Esto nos permitió extender la aplicación sintética del TEMPO<sup>+</sup> y con ello desarrollar C- y N-glicosilaciones de glicales en condiciones mucho más simples que las que generalmente requiere esta reacción química.



**Esquema 9.** a) Reordenamiento de Ferrier mediado por TEMPO<sup>+</sup>. b) Reordenamiento oxa-Ferrier mediado por TEMPO<sup>+</sup>.

Además, con esta nueva aplicación del catión TEMPO<sup>+</sup> y con la necesidad de sintetizar una lactona  $\alpha,\beta$ -insaturada quiral para la síntesis total de las (-)-passifetilactonas B y C, exploramos el uso de clorito de sodio como nucleófilo en nuestro reordenamiento de Ferrier promovido por TEMPO<sup>+</sup>. De esta manera, reportamos un nuevo método para la obtención de lactonas  $\alpha,\beta$ -insaturadas quirales a partir de glicales mediante un reordenamiento que denominamos oxa-Ferrier, el cual, se aplicó como paso clave en la síntesis total y confirmación estructural de las (-)-passifetilactonas B y C (Esquema 9b).<sup>[7]</sup> Actualmente, seguimos estudiando la reactividad del catión TEMPO<sup>+</sup> como ácido de Lewis para promover distintas reacciones.

## Conclusiones

En esta época de mayor responsabilidad ambiental, se debe entablar un compromiso mayor con la invención de metodologías sintéticas eficientes que permitan el desarrollo de una química lo más sustentable posible. Y en esta búsqueda, nos debemos enfocar en el desarrollo y/o uso de reactivos que ofrezcan, no solo alternativas, sino también ventajas sobre las reacciones mediadas por los metales de transición. Así como lo expusimos brevemente en el presente manuscrito, el catión TEMPO<sup>+</sup> es una especie química versátil y altamente robusta frente a condiciones de reacciones, donde la mayoría de sus contrapartes serían inestables. Esto ha permitido, y seguramente seguirá permitiendo, desarrollar reacciones químicas a un costo económico y ecológico bajo. Por otro lado, el estudio electrónico/estructural de este extraordinario agente reactivo podría ofrecer un nuevo mundo de posibilidades de uso en otras reacciones química.

## Bibliografía

- [1] V. A. Golubev, É. G. Rozantsev, M. B. Neiman, *Izv. Akad. Nauk SSSR, Ser. Khim.* **1965**, 11, 1927 (*Bull. Acad. Sci. USSR, Chem. Sci.* **1965**, 14, 1898–1904). <https://doi.org/10.1007/BF00845878>.
- [2] A. E. J. de Nooy, A. C. Besemer, H. van Bekkum, *Synthesis*, **1996**, 10, 1153–1176. <https://doi.org/10.1055/s-1996-4369>.
- [3] J. M. Bobbitt, C. Brückner, N. Merboub, *Org. React.* **2009**, 74, 103–424. <https://doi.org/10.1002/0471264180.or074.02>.
- [4] Nitroxide-catalyzed alcohol oxidations in organic synthesis. Stable Radicals. C. Brückner, Wiley, July 16, 2010, pp 433–460. <https://doi.org/10.1002/9780470666975.ch12>.
- [5] S. Cruz-Gregorio, J. Romero-Ibañez, F. Sartillo-Piscil, *Targets Heterocycl. Syst.* **2022**, 26, 100–121. <https://doi.org/10.17374/targets.2023.26.100>
- [6] L. Porras-Santos, J. Sandoval-Lira, L. Quintero, J. M. Hernández-Pérez, P. López-Mendoza, F. Sartillo-Piscil, *J. Org. Chem.* **2024**, 89, 11281–11292. <https://doi.org/10.1021/acs.joc.4c00978>.
- [7] J. Bautista-Nava, L. Porras-Santos, A. Pérez-Bautista, L. Quintero, P. López-Mendoza, F. Sartillo-Piscil, *J. Org. Chem.* **2025**, 90, 6251–6260. <https://doi.org/10.1021/acs.joc.5c00354>.
- [8] V. A. Golubev, V. N. Borislavskii, A. L. Aleksandrov, *Russ. Chem. Bull.* **1977**, 9, 1874–1881. (Traducido al Inglés). <https://doi.org/10.1007/BF00924380>.
- [9] M.F. Semmelhack, C.R. Schmid, D.A Cortés, *Tetrahedron Lett.* **1986**, 27, 1119–1122. [https://doi.org/10.1016/S0040-4039\(00\)84193-3](https://doi.org/10.1016/S0040-4039(00)84193-3).
- [10] W. F. Bailey, J. M. Bobbitt, K.B. Wiberg, *J. Org. Chem.* **2007**, 72, 4504–4509. <https://doi.org/10.1021/jo0704614>.
- [11] J. M. Bobbitt, A. L. Bartelson, W. F. Bailey, T. A. Hamlin, C. B. Kelly, C. B., *J. Org. Chem.* **2014**, 79, 1055–1067. <https://doi.org/10.1021/jo402519m>.
- [12] T. A Hamlin, C. B. Kelly, J. M. Ovian, R. J. Wiles, L. J. Tilley, N. E. Leadbeater, *J. Org. Chem.* **2015**, 80, 8150–8167. <https://doi.org/10.1021/acs.joc.5b01240>.

- [13] H. Richter, O. García-Mancheño, *Eur. J. Org. Chem.* **2010**, 23, 4460–4467. <https://doi.org/10.1002/ejoc.201000548>.
- [14] Y. Changcun, L. Yuxiu, W. Qingmin, *Org. Lett.* **2015**, 17, 5714–5717. <https://doi.org/10.1021/acs.orglett.5b03042>.
- [15] U. Osorio-Nieto, D. Chamorro-Arenas, L. Quintero, H. Höpfl, F. Sartillo-Piscil, *J. Org. Chem.* **2016**, 81, 8625–8632. <https://doi.org/10.1021/acs.joc.6b01566>.
- [16] J. Romero-Ibañez, S. Cruz-Gregorio, J. Sandoval-Lira, J. M. Hernández-Pérez, L. Quintero, F. Sartillo-Piscil, *F. Angew. Chem. Int. Ed.* **2019**, 58, 8867–8871. <https://doi.org/10.1002/anie.201903880>.
- [17] A. Recoba-Torres, S. Cruz-Gregorio, L. Quintero, J. Sandoval-Lira, J. Romero-Ibañez, F. Sartillo-Piscil, *Eur. J. Org. Chem.* **2022**, e202200292. <https://doi.org/10.1002/ejoc.202200292>.
- [18] Á. A. Nolasco-Hernández, L. Quintero, S. Cruz-Gregorio, F. Sartillo-Piscil, *J. Org. Chem.* **2024**, 89, 1762–1768. <https://doi.org/10.1021/acs.joc.3c02466>.
- [19] J. Rivera-Mendoza, Á. A. Nolasco-Hernández, L. Quintero, V. Carranza-Téllez, F. Sartillo-Piscil, *Tetrahedron* **2025**, 185, 134800. <https://doi.org/10.1016/j.tet.2025.134800>.
- [20] Y. He, Q. Liu, T. Gong, Y. Liu, X. Zhang, X. Fan, *Org. Chem. Front.* **2023**, 10, 1206–1212. <https://doi.org/10.1039/D2QO01427K>.
- [21] S. Masatoshi, T. Masaki, Y. Iwabuchi, *J. Org. Chem.* **2008**, 73, 4750–4752. <https://doi.org/10.1021/jo800634r>.
- [22] Y. Zhang, Y. Chen, M. Song, B. Tan, Y. Jiang, C. Yan, Y. Jiang, X. Hu, C. Zhang, W. Chen, J. Xu, *J. Am. Chem. Soc.* **2022**, 144, 16042–16051. <https://doi.org/10.1021/jacs.2c05957>.
- [23] K. Moriyama, M. Kuramochi, S. Tsuzuki, K. Fujii, T. Morita, *Org. Lett.* **2021**, 23, 268–273. <https://doi.org/10.1021/acs.orglett.0c03546>.

### Pedro López Mendoza

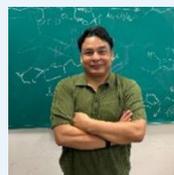


Centro de Investigación de la Facultad de Ciencias Químicas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), 14 Sur Esq. San Claudio, Col. San Manuel, 72570, Puebla, México

E: [pedro.lopez@viep.com.mx](mailto:pedro.lopez@viep.com.mx)  
ORCID: 0000-0002-5958-6013

Pedro López Mendoza obtuvo el doctorado en Ciencias Químicas en 2020 en la Universidad Nacional Autónoma de México bajo la asesoría del Prof. Luis D. Miranda. Durante sus estudios de posgrado, se enfocó en el desarrollo de nuevas metodologías sintéticas empleando reacciones radicalarias. Posteriormente, se incorporó al grupo del Prof. Fernando Sartillo-Piscil en la Facultad de Ciencias Químicas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, donde realiza una estancia posdoctoral desde 2021 e imparte clases por asignatura. Su investigación se centra en el desarrollo de nuevas tácticas y estrategias para la síntesis total de productos naturales con actividad antibacteriana.

### Fernando Sartillo-Piscil



Centro de Investigación de la Facultad de Ciencias Químicas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), 14 Sur Esq. San Claudio, Col. San Manuel, 72570, Puebla, México

E: [fernando.sartillo@correo.buap.mx](mailto:fernando.sartillo@correo.buap.mx)  
ORCID: 0000-0002-4322-7534

Fernando Sartillo Piscil es Profesor-Investigador de la Facultad de Química de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla desde el 2003. Sus líneas de investigación se enfocan en el estudio mecanístico de reacciones químicas orgánicas, desarrollo de nuevas metodologías/estrategias sintéticas y síntesis total de productos naturales. Entre sus logros científicos más relevantes se encuentra la Cátedra Marcos Moshinsky en el 2016, Presea Estatal de Puebla Luis Rivera Terrazas en el 2017, miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel 3 desde el 2019, y Profesor Visitante del *Indian Institute Technology Bombay*, India en el 2022.